



**Foro Nuclear**

Foro de la Industria Nuclear Española

# PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE EL PLUTONIO

---

**30 de marzo de 2011**

- **¿Qué es el plutonio?**
- **¿Cuál es la radiactividad del plutonio?**
- **¿De dónde procede el plutonio?**
- **¿Cómo actúa el plutonio en los reactores actuales?**
- **¿Cuáles son las aplicaciones del plutonio recuperado?**
- **¿Es peligroso el plutonio?**
- **¿Es igual el plutonio que puede extraerse del combustible gastado procedente de una central nuclear que el plutonio que se emplea en bombas atómicas?**
- **¿Cuáles son los aspectos legales de salvaguardia del plutonio?**

## ¿Qué es el plutonio?

---

El plutonio es el elemento químico 94 de la Tabla Periódica. Se descubrió en 1940 por un equipo de científicos que investigaba el comportamiento del uranio en la fisión. Glenn T. Seaborg (Premio Nobel de Química) era el director de este equipo.

El plutonio es el elemento 94 del sistema periódico, pertenece a la serie de los elementos actínidos y tiene 16 isótopos, todos ellos radiactivos. El elemento es un metal de aspecto semejante a la plata y presenta 5 estructuras cristalinas diferentes.



# Foro Nuclear

Foro de la Industria Nuclear Española

Químicamente el plutonio es muy activo. Forma compuestos con todos los elementos no metálicos, excepto los gases nobles. Los halógenos y los hidrácidos forman haluros, el oxígeno óxidos, el hidrógeno hidruros, el nitrógeno y el amoníaco nitruros y el monóxido de carbono carburos. El metal se disuelve en ácidos y reacciona con agua, aunque moderadamente en comparación con los ácidos.

## ¿Cuál es la radiactividad del plutonio?

Los 16 isótopos del Pu son todos artificiales. Sus formas de desintegración radiactiva, períodos de semi desintegración y energía de las partículas emitidas se dan en la figura 1.

	<b>Cm 238</b> 2,4 h € α 6,52	<b>Cm 239</b> 3 h € γ 188...	<b>Cm 240</b> 27 d sf α 6,291; 6,248... γ 472; 431; 132...	<b>Cm 241</b> 32,8 d sf € 5,939... γ 472; 431; 132... e <sup>-</sup>	<b>Cm 242</b> 162,94 d sf α 6,113; 6,069... €; sf; g γ (44...); e <sup>-</sup> α 20 σ 180; σ <sub>f</sub> 620	<b>Cm 243</b> 29,1 a sf α 5,785; 5,742... €; sf; g γ 278; 228; 210...; e <sup>-</sup> α 150; σ <sub>f</sub> 620	<b>Cm 244</b> 18,10 a sf α 5,805; 5,762... sf; g γ (43...); e <sup>-</sup> α 15; σ <sub>f</sub> 1,1	<b>Cm 245</b> 8500 a sf α 5,361; 5,304... sf; g γ 175; 133; α 350; σ <sub>f</sub> 2100	<b>Cm 246</b> 4730 a sf α 5,386; 5,343... sf; g γ (45); e <sup>-</sup> α 1,2; σ <sub>f</sub> 0,16
<b>Am 236</b> 4,4 m € α 6,41	<b>Am 237</b> 73,0 m sf α 6,042... γ 280; 438; 474; 909... g	<b>Am 238</b> 1,63 h sf α 5,94 γ 963; 919; 561; 605... g	<b>Am 239</b> 11,9 h sf α 5,774... γ 278; 228... e <sup>-</sup>	<b>Am 240</b> 50,8 h sf α 5,378... γ 988; 889... g	<b>Am 241</b> 432,2 a sf α 5,486; 5,443... sf; γ 60; 26... e <sup>-</sup> ; g α 50 + 570; σ <sub>f</sub> 0,1	<b>Am 242</b> 141 a   16 h sf Hy (49); e <sup>-</sup> β <sup>-</sup> 0,6 α 5,208... 0,74 sf; γ (49...); γ (42...) σ 1700 e <sup>-</sup> ; g σ 7000; σ <sub>f</sub> 2100	<b>Am 243</b> 7370 a sf α 5,275; 5,233... sf; γ 75; 44... σ 75 + 5 σ <sub>f</sub> 0,074	<b>Am 244</b> 26 m   10,1 h sf β <sup>-</sup> 1,5... γ 744; γ (1084...); 698; e <sup>-</sup> ; g α 154...; e <sup>-</sup> σ 1600; σ <sub>f</sub> 2200	<b>Am 245</b> 2,05 h sf β <sup>-</sup> 0,9... γ 253; (241; 296...) e <sup>-</sup> ; g
<b>Pu 235</b> 25,3 m sf € 6,85 γ 49; (756; 34...) e <sup>-</sup>	<b>Pu 236</b> 2,858 a sf α 5,788; 5,721... sf; Mg 28 γ (48; 109...); e <sup>-</sup> σ 160	<b>Pu 237</b> 45,2 d sf α 5,334... γ 60...; e <sup>-</sup> σ 2300	<b>Pu 238</b> 87,74 a sf α 5,499; 5,456... sf; S; Mg γ (43; 100...); e <sup>-</sup> σ 510; σ <sub>f</sub> 17	<b>Pu 239</b> 2,411 · 10 <sup>4</sup> a sf α 5,157; 5,144... sf; γ (52...) e <sup>-</sup> ; m σ 270; σ <sub>f</sub> 752	<b>Pu 240</b> 6563 a sf α 5,168; 5,124... sf; γ (45...) e <sup>-</sup> ; g α 280; σ <sub>f</sub> = 0,44	<b>Pu 241</b> 14,35 a sf β <sup>-</sup> 0,02; g α 4,896... sf; γ (45...) e <sup>-</sup> ; g γ (149...); e <sup>-</sup> σ 370; σ <sub>f</sub> 1010	<b>Pu 242</b> 3,750 · 10 <sup>5</sup> a sf α 4,901; 4,856... sf; γ (45...) e <sup>-</sup> ; g σ 19; σ <sub>f</sub> < 0,2	<b>Pu 243</b> 4,956 h sf β <sup>-</sup> 0,6... γ 84...; g σ < 100; σ <sub>f</sub> 200	<b>Pu 244</b> 8,00 · 10 <sup>7</sup> a sf α 4,589; 4,546... e <sup>-</sup> ; g α 1,7
<b>Np 234</b> 4,4 d €; β <sup>-</sup> ... γ 1559; 1528; 1602... σ 900	<b>Np 235</b> 396,1 d €; α 5,025; 5,007... γ (62; 84...); e <sup>-</sup> g; σ 160 + 7	<b>Np 236</b> 22,5 h   1,54 · 10 <sup>5</sup> a sf €; β <sup>-</sup> 0,5...; e <sup>-</sup> ; β <sup>-</sup> ; α γ (642...); γ 160; 888...; e <sup>-</sup> ; g σ 2700; σ <sub>f</sub> 2600	<b>Np 237</b> 2,144 · 10 <sup>6</sup> a sf α 4,790; 4,774... γ 29; 87...; e <sup>-</sup> σ 180; σ <sub>f</sub> 0,020	<b>Np 238</b> 2,117 d β <sup>-</sup> 1,2... γ 984; 1029; 1026; 924...; e <sup>-</sup> g; σ 2100	<b>Np 239</b> 2,355 d β <sup>-</sup> 0,4; 0,7... γ 106; 278; 228...; e <sup>-</sup> ; g σ 32 + 19; σ <sub>f</sub> < 1	<b>Np 240</b> 7,22 m   65 m β <sup>-</sup> 2,2... γ 555; 597... 974; 601; 1473... 448...; g	<b>Np 241</b> 13,9 m β <sup>-</sup> 1,3... γ 175; (133...) g	<b>Np 242</b> 2,2 m   5,5 m β <sup>-</sup> 2,7... γ 736...; γ 795; 945; 159...; g	<b>Np 243</b> 1,85 m β <sup>-</sup> γ 288 g
<b>U 233</b> 1,592 · 10 <sup>5</sup> a α 4,824; 4,783... Ne 25 γ (42; 97...); e <sup>-</sup> σ 47; σ <sub>f</sub> 530	<b>U 234</b> 0,0055 a 2,455 · 10 <sup>5</sup> a 26 m 7,038 · 10 <sup>4</sup> a Hy (10,07) Ne; γ 166... e <sup>-</sup> ; σ 59; σ <sub>f</sub> 560	<b>U 235</b> 0,7200 a €; α 4,494; 4,445... α 4,398...; sf α 4,775; 4,723...; sf Mg 28; Ne; γ (53; 121...) e <sup>-</sup> ; σ 68; σ <sub>f</sub> < 0,005	<b>U 236</b> 120 ns   2,342 · 10 <sup>7</sup> a Hy 3783; 642... 119...; e <sup>-</sup> ; σ 5,4	<b>U 237</b> 6,75 d β <sup>-</sup> 0,2... γ 60; 208... e <sup>-</sup> σ = 100; σ <sub>f</sub> < 0,35	<b>U 238</b> 99,2745 a 270 ns   4,468 · 10 <sup>9</sup> a Hy 2314... 4,198...; d 20...; γ 50...; g σ 22; σ <sub>f</sub> 1073	<b>U 239</b> 23,5 m β <sup>-</sup> 1,2; 1,3... γ 75; 44... e <sup>-</sup> ; m σ 22; σ <sub>f</sub> 15	<b>U 240</b> 14,1 h β <sup>-</sup> 0,4... γ 44; (190...) e <sup>-</sup> m		<b>U 242</b> 16,8 m β <sup>-</sup> γ 68; 58; 585; 573... m

Técnicamente, el isótopo 239 es el más importante por el alto valor de su sección eficaz de fisión por neutrones, que lo hacen apropiado para poder ser empleado en reactores nucleares comerciales. En orden de



# Foro Nuclear

Foro de la Industria Nuclear Española

importancia le sigue el isótopo 238, que se emplea como fuente de calor para generadores termoeléctricos. Una característica notable de muchos de los isótopos del plutonio es que presentan el fenómeno de la fisión espontánea.

## ¿De dónde procede el plutonio?

---

El plutonio no existe en la naturaleza más que a niveles mínimos de trazas. Se produce cuando el combustible nuclear se quema en los reactores nucleares convencionales. El combustible irradiado procedente de los reactores nucleares está formado fundamentalmente por uranio (con un porcentaje del 96%, aproximadamente) y plutonio (con un porcentaje algo inferior al 1%).

La gestión de combustible gastado tiene dos alternativas en la gestión a largo plazo, denominadas ciclo abierto y ciclo cerrado.

El ciclo abierto consiste en considerar que el combustible gastado es un residuo radiactivo de alta actividad desde el momento de su descarga del reactor, teniendo que almacenar el combustible de manera definitiva.

El ciclo cerrado consiste en someter al combustible gastado a un proceso mecánico-químico que permite separar al uranio y plutonio que aun contienen productos de fisión y transuránicos. El uranio y plutonio recuperados se emplean para fabricar nuevo combustible y los productos de fisión y los transuránicos constituyen el residuo de alta actividad. El proceso mecánico-químico se conoce como reelaboración o reproceso.



## ¿Cómo actúa el plutonio en los reactores actuales?

---

Al mismo tiempo que se genera en el interior del combustible de los reactores nucleares, el Pu-239 se fisiona, colaborando así con el U-235 en la producción de energía. Absorciones adicionales de neutrones y desintegraciones de otros elementos radiactivos que se forman originan también los isótopos 240 (absorbente de neutrones), 241 (fisionable) y 242 (absorbente).

La proporción de estos isótopos en el combustible varía con el tiempo de irradiación o grado de quemado a que se llegue. A quemados reducidos la proporción de Pu-239 es muy alta, mientras que a quemados altos aumenta la proporción de los isótopos superiores, reduciéndose la del Pu-239.

En los reactores comerciales, los elementos combustibles permanecen en el reactor largos tiempos hasta que la acumulación de productos de fisión y el consumo del material fisionable anulan su contribución al funcionamiento del reactor. El grado de quemado al que se llega es alto, unos 45 MWd por kg de uranio. El combustible usado, al salir del reactor, contiene de 0,8 a 1,0% de plutonio, con una composición isotópica alrededor de 65% de Pu-239 + Pu-241 (fisionables), y 35% de Pu-240 + Pu-242 (absorbentes), además de pequeñas cantidades de Pu-238. Este plutonio se suele denominar como plutonio comercial o plutonio de grado de reactor.



## Foro Nuclear

Foro de la Industria Nuclear Española

### ¿Cuáles son las aplicaciones del plutonio recuperado?

---

El plutonio producido en los combustibles nucleares se quema en parte durante la estancia de éste en el reactor, contribuyendo a la producción de energía y al inventario de los productos de fisión.

En el combustible gastado quedan entre 7 y 8 kilogramos por tonelada de plutonio sin quemar. Este plutonio, recuperado en el reproceso, se puede usar para sustituir el uranio- 235 en el combustible nuclear, fabricando pastillas de óxido de uranio y óxido de plutonio mezclados, que se llama combustible MOX.

El combustible MOX puede sustituir al combustible de uranio enriquecido en los reactores nucleares de agua ligera. Las características del plutonio hacen necesarias ciertas medidas tanto en las instalaciones que fabrican los combustibles como en los reactores que los utilizan.

### ¿Es peligroso el plutonio?

---

El plutonio es radiactivo y tóxico.



# Foro Nuclear

Foro de la Industria Nuclear Española

El principal tipo de radiación que emite (radiación alfa) no atraviesa una hoja de papel, es decir, una fina capa de un material puede parar la radiación. Por ejemplo, unos guantes de algodón podrían proteger las manos contra la radiación en la manipulación del plutonio.

La peligrosidad del plutonio se debe, sobre todo, a su radiotoxicidad. La radiación que emite (alfa) cuando se ha ingerido o inhalado, puede producir cáncer de pulmón (si se ha inhalado) o cánceres de otros tipos según donde esté depositado en el cuerpo.

No se conoce ninguna muerte provocada por inhalación o ingestión de plutonio, aunque algunas personas tengan cantidades medibles de plutonio en sus organismos.

## ¿Es igual el plutonio que puede extraerse del combustible gastado procedente de una central nuclear que el plutonio que se emplea en bombas atómicas?

---

No. El plutonio que se emplea en la fabricación de las bombas atómicas tiene una concentración en el isótopo plutonio-239 del orden del 90%, mientras que el plutonio que se produce en las centrales nucleares alcanza, como máximo, una concentración del 60%.



# Foro Nuclear

Foro de la Industria Nuclear Española

## ¿Cuáles son los aspectos legales de salvaguardia del plutonio?

---

La producción, transporte y manipulación de materiales nucleares, incluyendo el combustible gastado que contiene plutonio, está sujeto a una estricta normativa a nivel internacional y nacional.

En materia de seguridad nuclear y protección radiológica, en España se aplican las disposiciones que elabora el poder legislativo, a las que hay que añadir las que, por formar parte de la Unión Europea (EURATOM), son de obligado cumplimiento desde el momento de nuestra adhesión a la U.E.; así como aquéllas que se derivan de las Convenciones y Protocolos internacionales ratificados por España.