

## Entrada, distribución y acumulación del uranio en el organismo (\*)

**Eduard Rodríguez Farré y Salvador López Arnal**

Rebelión

Recordemos algunas definiciones y consideraciones sobre el uranio.

Las definiciones:

URANIO ENRIQUECIDO: Es uranio con mayor proporción del isótopo 235 que el uranio natural. El necesario para su uso en las centrales nucleares o en armamento nuclear. La denominación, al igual que la de uranio empobrecido, tiene fines propagandísticos.

URANIO EMPOBRECIDO: La denominación uranio empobrecido (*depleted uranium* en inglés; literalmente uranio gastado, agotado) no deja de ser extremadamente utilitarista y confusa. Es uranio empobrecido en isótopo de peso atómico 235, pero enriquecido en el abundante isótopo 238. Es el utilizado para ciertas finalidades, especialmente en los reactores plutónigenos militares y en la elaboración de obuses de gran poder perforante.

Las consideraciones:

**Si te parece, para empezar a situarnos, podríamos hablar del uranio, que como es sabido juega un papel básico en la industria nuclear y en las centrales. ¿Qué tipo de elemento químico es el uranio? ¿Cuáles son sus isótopos principales?**

El uranio es un metal, es el elemento *natural* más pesado que existe en nuestro planeta. Es cierto que existen otros elementos químicos más pesados pero son artificiales, no existen por sí mismos en la Naturaleza. El número atómico del uranio, el número de los protones de su núcleo, que en la literatura científica se representa con la letra Z, es el 92. Este valor, en los átomos neutros, coincide con el número de electrones existentes en la corteza. Es una magnitud que singulariza las propiedades químicas de cada elemento ya que éstas vienen básicamente determinadas por el número y distribución de los electrones de las capas superiores.

En la corteza terrestre el uranio se encuentra en una concentración promedio de 2-3 ppm, es decir, de 2 a 3 partes por millón, entre 2 y 3 miligramos de uranio por cada kilogramo de materia terrestre, en forma de diversos minerales como la pechblenda o la uraninita, y está compuesto por una mezcla de tres isótopos, todos ellos radiactivos y definidos por su peso atómico. El uranio 238 -al decir 238 nos referimos al peso atómico, a la suma de protones y neutrones del núcleo, no a su número atómico que es, como dijimos, el número de protones-, este uranio 238, decía, constituye el 99,27% del total existente. Su vida media radiactiva...

**Un momento. ¿A qué llamamos elementos radiactivos? ¿Cómo se define la vida media?**

Un elemento químico es una sustancia que no puede ser descompuesta en partes más básicas, más elementales, mediante una reacción química. Un elemento químico es, digamos, una clase de átomos. Los [átomos](#) con igual [número atómico](#), con igual número de protones, corresponden al mismo elemento químico que puede formar varias sustancias simples. Elemento químico y sustancia simple no son nociones equivalentes.

## **Por ejemplo.**

El elemento químico oxígeno O forma dos sustancias con características muy diferentes: el ozono (O<sub>3</sub>) y el oxígeno (O<sub>2</sub>).

## **¿Y cuántos elementos químicos existen?**

Conocemos 118 elementos. De éstos, 90 se encuentran en la naturaleza, formando parte de [sustancias simples](#) o de [compuestos químicos](#); [el resto](#) ha sido creado artificialmente con [aceleradores de partículas](#) o en [reactores atómicos](#). Excepto el tecnecio y el prometeo, de números atómicos 43 y 61 respectivamente, todos los elementos artificiales son transuránicos.

## **¿Elementos transuránicos?**

Son los elementos químicos con un número atómico mayor que 92, el número correspondiente al uranio. Algunos de estos últimos elementos, especialmente los transuránicos más pesados, son muy inestables, apenas existen durante milésimas de segundo.

## **¿Qué es entonces la radiactividad?**

La radiactividad es un fenómeno físico natural por el que algunos [elementos químicos](#), llamados por ello "radiactivos", emiten [radiaciones](#) que tienen la propiedad de ionizar a la materia. Por esa capacidad, y en contraste con las restantes radiaciones, se las suele denominar "radiaciones ionizantes". Las radiaciones emitidas pueden ser electromagnéticas de alta energía, en forma de [rayos X](#) o de [rayos gamma](#), o bien diferentes tipos de partículas, como [núcleos de helio](#) (partículas alfa), [electrones y positrones](#) (partículas beta), [protones](#), neutrones. La radiactividad es, por tanto, una propiedad de los [isótopos](#) de los elementos que son "inestables", que se mantienen en un estado excitado en su estructura nuclear; por ello, para alcanzar su estado fundamental de equilibrio, deben perder energía. Y, como decía, esta pérdida energética se alcanza con emisiones electromagnéticas o con emisiones de partículas que tienen una determinada energía cinética. De esta forma, en varios pasos sucesivos, un isótopo pesado puede terminar convirtiéndose en uno mucho más ligero, como es el caso del uranio que con el transcurrir del tiempo acaba convirtiéndose en [plomo](#).

Poco a poco podemos ir viendo estas nociones con más detalle, surgirán a lo largo de nuestra conversación. La radiactividad, como veremos, es aprovechada para la obtención de [energía](#) y es usada en medicina, en [radioterapia](#) y en [radiodiagnóstico](#), y también en aplicaciones industriales, como, por ejemplo, en medidas de espesores y densidades.

## **¿Y qué es la vida media radiactiva?**

La vida media de un elemento radioactivo, denominada también período de semidesintegración, es un concepto físico que se suele simbolizar por T<sub>1/2</sub>. Es la cantidad de tiempo necesaria para que se desintegren la mitad de los átomos de un elemento dado. La vida media de un determinado isótopo es siempre la misma, no depende, por ejemplo, de cuántos átomos tengamos o de cuánto tiempo hayan estado allí. La vida media del uranio 238, el isótopo del que hablábamos, es de 4.510 millones de años. Con esto se quiere decir que esta clase de uranio tarda 4.510 millones de años no en desaparecer sino en quedarse reducido a la mitad de su masa. El uranio 235, que es el 0,72% del total de uranio existente, tiene una vida media de 713 millones de años, y el 234, que está en una proporción del 0,006%, tiene una vida media de 247.000 años.

**De los tres, sólo el uranio 235 es utilizable como combustible en las centrales nucleares.**

Efectivamente. De los tres isótopos citados sólo el uranio 235 es utilizable para la

fabricación de bombas atómicas o como combustible en los reactores nucleares, tanto los dedicados a la producción eléctrica como a otros fines. Ello es debido a que este tipo de uranio es fisible, es decir, puede desintegrarse en otros elementos con liberación de ingentes cantidades de energía cuando es bombardeado con neutrones lentos. Ahora bien, para su uso en reactores, el 0,7% de uranio 235 presente en los minerales de uranio naturales debe ser incrementado hasta un 3-5%, y para fabricar bombas atómicas debe alcanzar una proporción mucho mayor, entre un 90 y un 95%. Al uranio 238, que se origina en el complejo proceso de separación isotópica, se le ha denominado, eufemísticamente, *uranio empobrecido* en contraste con el uranio enriquecido en el isótopo 235.

### **Por eso se habla del "enriquecimiento" del uranio o del "uranio empobrecido".**

Éste es un tema que ha salido a la luz recientemente. Desde las guerras de Mesopotamia, desde inicios de los años noventa, no antes, se ha empezado a utilizar la terminología "uranio empobrecido" y "uranio enriquecido". Desde el punto de vista del impacto sobre la salud humana y el medio ambiente, e incluso desde el mismo punto de vista físico, todas estas denominaciones son incorrectas o, como mínimo, muy confusas. Básicamente son terminología de marketing, términos publicitarios, que sin duda juegan un papel político-cultural, pero no son propiamente nociones científicas.

Al decir que un tipo de uranio está enriquecido en algún aspecto, parece que se quiera decir que las otras clases de uranio han perdido su valor y que, por consiguiente, ya no pueden tener uso productivo. No es así, en absoluto. Como decía, el uranio natural que hay en las minas es, fundamentalmente, una mezcla de uranio 238 y del otro isótopo, el uranio 235. Ambos isótopos tienen, prácticamente, la misma energía de desintegración y las mismas características radiobiológicas, si bien difieren, como veíamos, en su periodo de semidesintegración, y se desintegran en forma de partículas alfa, que son núcleos totalmente ionizados de helio, sin su envoltura electrónica, formados por dos protones y dos neutrones, partículas altamente energéticas que pueden ocasionar graves problemas en la salud cuando entran dentro de nuestro organismo.

Vale la pena insistir, por tanto, en este punto. Tanto el uranio 235 como el uranio 238, tanto el "enriquecido" como el "empobrecido", digámoslo así para entendernos, tienen este tipo de desintegración. Esto es lo que importa realmente de cara a sus posibles impactos en la salud humana.

### **Desde un punto de vista físico, ¿cuál es su principal diferencia?**

Desde esa perspectiva, desde un punto de vista físico, la gran diferencia consiste en que el uranio 235 es un elemento que en ciencias físicas se denomina fisible, es decir, como decía antes, que puede "romperse", de forma tal que cuando su núcleo recibe neutrones se divide en otros elementos más simples liberando energía. Éste es el tipo de uranio que interesa en los reactores nucleares o en los centros militares donde se construyen bombas atómicas, mientras que la otra clase de uranio, el 238, al recibir neutrones no se fisiona sino que se transforma en plutonio. Es a este último al que llaman "uranio fértil".

Esta es la principal diferencia que existe entre ambas clases de uranio desde el punto de vista de sus propiedades físicas. Conviene recordar, por otra parte, que el isótopo 239 del plutonio producido a partir del uranio 238 es también radiactivo y fisible y es utilizado básicamente en otras versiones de las bombas atómicas.

Por lo que antes decíamos, desde el punto de vista tecnológico, para una central nuclear o para la fabricación de armas nucleares, el uranio que importa es el 235. Como la cantidad existente de este uranio en la naturaleza es muy pequeña, lo que se busca es incrementar su proporción. Éste es uno de los puntos críticos tanto del ciclo militar como del civil. De hecho, éste es el principal problema que existe actualmente con Irán.

### **Pero, como decías, todos los isótopos del uranio son radiactivos**

Como todo tipo de uranio, el denominado "empobrecido" también es radiactivo, aunque su intensidad sea menor que la del *enriquecido*. El "empobrecido" proviene, como he

intentado explicar, de los restos no utilizables del uranio enriquecido, del uranio que es empleado en las centrales nucleares y en usos militares. De hecho, en la actualidad, existen ingentes cantidades acumuladas de ese tipo de uranio como subproducto de la industria nuclear. Conviene no ignorar de todos modos que el uranio 238, el uranio empobrecido, tras absorber neutrones y seguir una doble desintegración beta...

### **¿Desintegración beta?**

La *desintegración o emisión beta* es un proceso por el cual un [núclido](#) no estable puede transformarse en otros núclidos mediante la emisión de una partícula beta que puede ser un electrón (carga negativa), la desintegración beta más usual, o un positrón (carga positiva).

El uranio 238, como decía, se transforma en el elemento sintético de número atómico 94 -prácticamente inexistente en la naturaleza-, el radiactivo y extremadamente radiotóxico plutonio 239, cuya vida media es de 24.360 años, y que es también utilizable tanto en armas nucleares -de hecho, es el principal ingrediente de las actuales bombas atómicas- como en reactores rápidos especiales. Este radioisótopo del plutonio es también un subproducto de los reactores de las centrales y constituye uno de los principales problemas de los desechos radiactivos. Si te parece, más adelante podemos hablar también de este tema central.

### **De acuerdo, más adelante volvemos a retomarlo.**

En todo caso, el uranio 238 es un emisor radiactivo de partículas alfa, partículas, recuérdese, altamente energéticas, y constituye la cabeza de serie de un conjunto de transmutaciones en otros elementos radiactivos (torio, radio, radón, polonio) que finalizan en el plomo estable. La utilización de este tipo de uranio en los obuses anticarro y contra blindajes implica que, por sus propiedades químicas y pirofóricas, en el momento del impacto sea altamente perforante dada su elevada energía cinética, y se transforme en un aerosol, es decir, se pulveriza en partículas enormemente pequeñas que en contacto con el oxígeno del aire estallan y rompen en llamas.

### **¿Cuál es el principal peligro de estas partículas?**

Estas partículas de uranio, de tamaño micrométrico y en diferentes estados de oxidación - UO<sub>2</sub> y U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, principalmente- se dispersan por el medio, se depositan en tierra y pueden transportarse con el viento y la lluvia a grandes distancias, lo que aumenta la posibilidad de ser inhaladas por las numerosas personas que pueden habitar en estas amplias zonas. Tienen, además, la característica de que permanecen en el ambiente durante millares de años emitiendo radiactividad y transformándose, por desintegración, en otros elementos de mayor intensidad radiactiva.

### **¿Cuál es entonces la toxicidad del uranio 238 y cuáles son sus principales efectos sobre la salud humana?**

Cualquier que sea el isótopo del uranio, no sólo el 238, emite partículas alfa al desintegrarse, las cuales, como decíamos, son de muy alta energía: 4,27 MeV en el caso del 238. La radiación alfa, dada su masa, es muy poco penetrante y puede ser fácilmente bloqueada; por ello, el peligro de irradiación externa es relativamente bajo para quienes están cerca del metal o incluso en contacto con los proyectiles u otros materiales de uranio. Con protecciones sencillas basta. En cambio, el uranio presenta ante todo un riesgo de *irradiación interna* y toxicidad química cuando la exposición se efectúa por inhalación e ingestión, especialmente cuando se encuentra, como explicábamos antes, en forma finamente pulverizada, como en los aerosoles producidos por la colisión de un proyectil con un blindado o cualquier otra superficie resistente. El aerosol de uranio, cuando es inhalado, la vía de exposición más importante, o cuando es ingerido por seres humanos, se acumula en el organismo. Entra por el pulmón o, en el caso de formas solubles, por vía digestiva, y pasa al torrente sanguíneo para acabar depositándose en

cantidades apreciables en los ganglios linfáticos y en los huesos, de forma similar al calcio, permaneciendo allí, en este último caso, prácticamente toda la vida.

**Pero este uranio incorporado al organismo seguramente podrá ser eliminado con rapidez.**

Una parte importante es eliminada por la orina en los días siguientes a la exposición, pero la fracción que permanece en el hueso efectuará una irradiación interna que tiene importancia a nivel celular. Aunque la dosis de radiación puede no ser importante cuando se considera el organismo entero, la energía liberada en las células donde se ha depositado el metal radiactivo es considerable. Dada la poca penetrabilidad de la radiación  $\alpha$ , y al contrario de lo que ocurre con las emisiones  $\beta$  y  $\gamma$ , toda la energía de la partícula radiactiva –los 4,27 MeV que antes mencionaba- se liberará en el trayecto de unas pocas micras, lo que equivale a decir que esta energía será recibida por el interior de la célula donde ha ocurrido la desintegración de un átomo de uranio 238. Esta transferencia localizada de energía desestabiliza el funcionalismo celular, llevando a consecuencias patológicas e incluso letales.

**Por otra parte, aquí no finaliza la exposición radiactiva.**

Claro, claro, es necesario recordar que con la desintegración del uranio 238 no finaliza la exposición radiactiva y tóxica, pues éste inicia entonces la transmutación en la serie de radioelementos de la que hablábamos antes.

Además, en el caso de formas insolubles, las partículas inhaladas se acumulan prolongadamente en los ganglios linfáticos y de allí el uranio 238 puede pasar lentamente a la sangre, al igual que los fragmentos de metralla de este metal en el organismo que también van liberando, a lo largo de los años, el isótopo a la sangre.

**¿Puede afectar también a otros órganos humanos?**

Aparte de su duradera acumulación en el tejido óseo, el uranio muestra igualmente afinidad por el riñón, los ganglios linfáticos y el hígado. Se encuentra presente también en el semen donde posiblemente se deposita, al igual que en otros tejidos, en forma de ión uranilo sustituyendo al calcio.

Experimentalmente se ha mostrado que la inhalación de uranio produce en animales de laboratorio la aparición de tumores óseos, leucemia aguda y mieloides crónicas y neoplasias renales. El depósito de uranio en huesos es el que puede determinar tanto la irradiación de la médula ósea, lugar donde se forman las células sanguíneas, con posible inducción de leucemia, como la del tejido óseo, desarrollando osteosarcomas.

**Y en cuanto a su toxicidad química.**

Independientemente de sus efectos radiactivos, el uranio posee también una importante toxicidad química como la mayoría de metales pesados. Esta toxicidad se manifiesta predominantemente en el riñón, especialmente en el túbulo proximal renal, y, con menor intensidad, en el hígado.

Deberíamos puntualizar, por otra parte, que todavía existen múltiples aspectos de la toxicidad del uranio mal definidos o desconocidos. Respecto a los efectos del uranio empobrecido sobre los humanos las investigaciones efectuadas hasta el momento son todavía preliminares e inconcluyentes. Como puedes imaginarte, existe una gran presión informativa desde instancias militares y políticas interesadas que suelen negar, por ejemplo, cualquier efecto negativo para la salud humana del uranio usado y diseminado en las recientes guerras.

**¿Y a ti qué te parece esta última consideración?**

Dicho sucintamente creo que puede afirmarse que, además del conocimiento experimental en animales de laboratorio, diversos estudios epidemiológicos publicados en los últimos

años postulan la manifestación de determinadas patologías en los veteranos militares y civiles de las guerras del Golfo y de los Balcanes, en especial la aparición de tasas de leucemia superiores a las observadas en la población no expuesta a este agente. Esta consideración coincidiría con los estudios experimentales.

**Hablábamos antes del “enriquecimiento” del uranio. ¿Cómo se consigue este enriquecimiento? Es decir, para hablar con más precisión, ¿cómo se consigue este incremento en la proporción de uranio 235?**

Del siguiente modo: la masa de uranio natural extraída del mineral se transforma en un gas, el hexafluoruro de uranio, que se centrifuga, se ultracentrifuga, y en la centrifugación, como en cualquier otro proceso de este tipo, las partículas más pesadas van a parar a la parte del fondo del tubo, al lugar más distante del eje, y las partículas menos pesadas quedan en el interior. A esta técnica se le llama *separación isotópica* y se utiliza en muchos otros procesos, en los laboratorios biológicos, por ejemplo.

La ultracentrifugación, en este caso del uranio, es una tecnología complicada desde el punto de vista del material que se necesita: contenedores, rotores, etc., es asunto de pura tecnología. Quien dispone de este proceso tecnológico puede “enriquecer”, es decir, puede incrementar, como decíamos, la proporción de uranio 235. Tanto en los reactores militares como en los civiles se tiene que incrementar la proporción de uranio 235. En un reactor civil viene a ser entre un 3% y un 7%; para obtener uranio que pueda ser usado militarmente se necesita incrementar la proporción de uranio 235 hasta un 70%, hasta un 80 % o más. Ésta fue, por ejemplo, la proporción de uranio 235 de *Little boy*, la bomba lanzada sobre Hiroshima.

Pero esto no quiere decir, como ya antes señalábamos, que un uranio sea “rico” y otro sea “pobre”, que es el error conceptual que parece difundirse. Un uranio, el 235, es rico y el otro, el 238, es pobre, y por tanto ya no sirve para nada. ¡Claro que sirve! Del uranio 238 se obtiene nada menos que el plutonio. Lo que ocurre en todo este proceso de obtención de uranio para las centrales, o en el proceso de incremento de la proporción de uranio 235 para las armas atómicas, es que se está generando grandes cantidades de uranio 238 que no tiene utilización inmediata, pero que en absoluto se puede decir que sean inútiles.

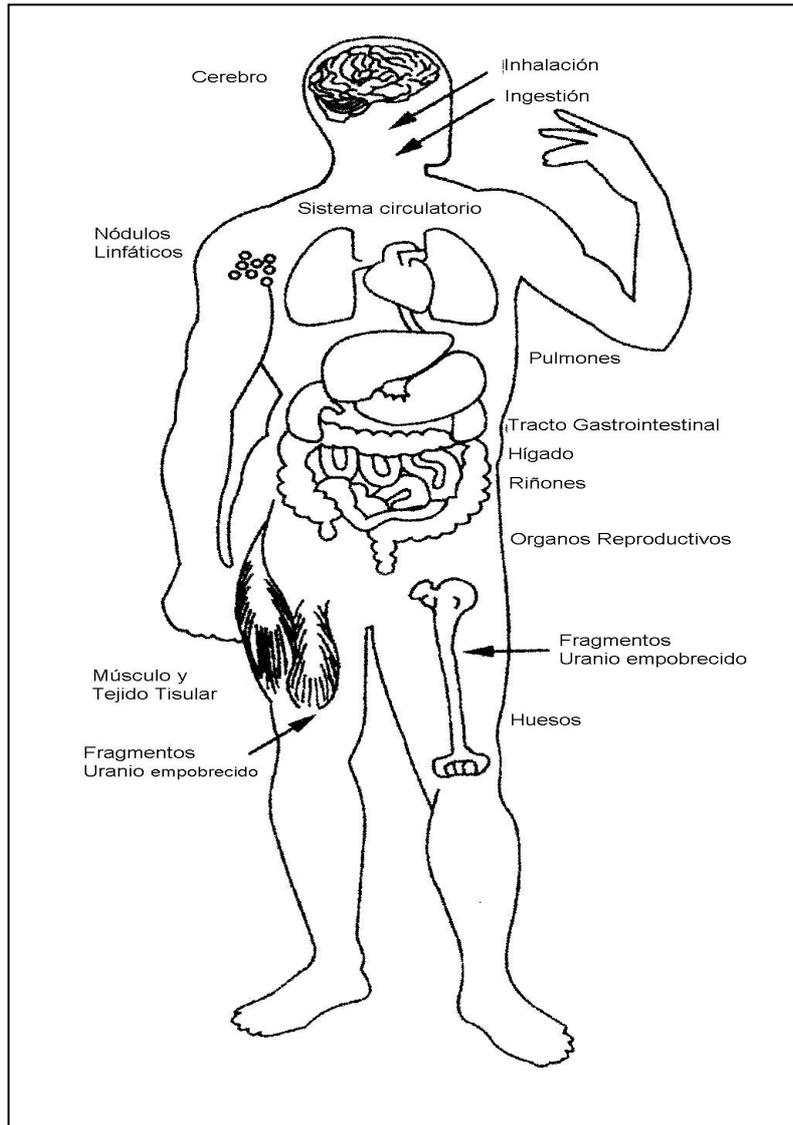
**Decías que del uranio-238 se podía obtener plutonio...**

Así es, el uranio 238 puede servir para hacer plutonio. El plutonio 239 es un isótopo fisible cuya masa crítica para iniciar una explosión atómica es de 510 gramos. Posee un período de semidesintegración de 24.400 años y su radiación de desintegración alfa es muy enérgica, alrededor de 5,1 MeV o 5.100.000 electronvols, al mismo tiempo que la desintegración gamma es muy débil, de 134 a 51 KeV, hablamos ahora de millares de electronvolts [1].

En el proceso de “enriquecimiento” en uranio 235 se producen grandes cantidades, millares de toneladas de uranio 238. Pues bien, hace ya muchos años, a los militares norteamericanos se les ocurrió fabricar obuses antitanque y otros tipos de bombas de gran penetrabilidad recubiertas de este uranio sobrante. El uranio, lo recuerdo brevemente, es un metal altamente pesado, el más pesado que existe en la Naturaleza, y el plutonio, en cambio, no existe de forma natural. Estos obuses recubiertos de uranio, al impactar con una coraza de tanque o con cualquier otro objetivo, al tener una gran penetrabilidad, y dado que la fricción en contacto con el aire es altamente inflamable, se convierten en aerosoles. El aerosol de uranio 238 se disemina por la naturaleza y puede llegar a centenares de kilómetros de distancia del lugar de la explosión. Ocurrió en la primera Guerra del Golfo, en la segunda Guerra, en los Balcanes, en todos estos lugares se han contaminado civiles y militares con partículas microscópicas de uranio que llegan al pulmón y pueden originar toda una serie de problemas, fundamentalmente carcinogénesis y enfermedades derivadas.

\*

Estos son los mecanismos de entrada del publicitariamente denominado uranio “empobrecido” en el organismo humano.



Nuestra fuente es: Jiang and Aschener Biol. Trace Elem Res 2005.

**Notas:**

[\*] Anexo 2 y partes del capítulo I de ERF y SLA, *Casi todo lo que usted desea saber sobre la energía nuclear y sus efectos en la salud y en el medio ambiente*, El Viejo Topo, Barcelona, 2008.

[1] El electronvoltio (eV) es una unidad de energía equivalente a la energía cinética que adquiere un electrón al ser acelerado por una diferencia de potencial en el vacío de 1 voltio. El electronvoltio es adecuado para trabajar con energías de ionización o de excitación de átomos o para energías de cohesión de moléculas. La energía de ionización, por ejemplo, adquiere valores máximos de decenas de eV. La energía térmica de partículas (electrones, neutrones) a la temperatura ambiente es de 23 meV (mielelectronvoltios: 0,001 eV). La energía de los rayos X (y de los electrones que los producen) utilizados para hacer una radiografía es de 50 keV, es decir, de 50.000 eV. En física de altas energías, el electronvoltio resulta una unidad muy pequeña por lo que son de uso frecuente múltiplos como el megaelectronvoltio MeV (1 millón de eV) o el gigaelectronvoltio GeV (1.000 millones de eV), llegando en la actualidad, y con los más potentes aceleradores de partículas, al teraelectronvoltio TeV (1 billón de eV).

Rebelión ha publicado este artículo con el permiso del autor mediante una [licencia de Creative Commons](#), respetando su libertad para publicarlo en otras fuentes.