

Radiactividad. Teoría y estructura atómica. Sus usos y aplicaciones

INTRODUCCIÓN

Desde Leucipo y Demócrito (siglo V a.c.), que vivieron en la antigua Grecia, varias personas han sostenido por razones filosóficas que la materia puede ser subdividida solamente hasta cierto límite. Este límite indivisible lo llamaron **átomo**, o sea que el átomo representaba la parte más pequeña e indivisible de la materia. Luego, en 1808 John Dalton enuncia algunos postulados que corroboraban esta información, pero en realidad, pronto surgieron muchas interrogantes que hicieron pensar que la estructura atómica no podía ser tan sencilla como lo sugería Dalton. Entre las situaciones que la Física y la Química no podrían explicar se encuentran las descargas eléctricas en gases a baja presión, los espectros y la radiactividad, la cual analizaremos a continuación.

Podemos decir que el descubridor de la radiactividad fue Becquerel, quien al trabajar con pechblenda (mineral de uranio), observó una fosforescencia sin que hubiese sido colocado previamente a la luz. Comprobó que este material emitía una cierta radiación capaz de velar una placa fotográfica. Posteriormente se descubrieron tres radiaciones emitidas por la emisión del radio al someterlo a la acción de campos electrónicos o magnéticos, llamadas radiaciones alfa, beta y gamma. Muchas veces debido a algunas de estas emisiones de radiaciones, los átomos se convierten en otros. Esto es lo que llamamos Radiación. Existe además un periodo de semidesintegración que corresponde a la vida media de un elemento.

El término radiactividad se encuentra bastante extendido en la sociedad. Se habla de residuos radiactivos, datación de restos arqueológicos usando isótopos radiactivos (Como el Carbono 14), bombas nucleares, aplicaciones médicas, etc. Sin embargo, realmente es poco lo que se conoce del tema. Hace falta conocer los beneficios que genera, los alcances científicos, etc. Además es interesante informarse sobre el por qué ocurren, mas sabiendo que todos los seres vivos están involucrados, se quiera o no con ella, no importando el lugar en donde se encuentren, ya sea en la casa, en la oficina, en el campo, en la calle, o en el colegio.

RADIATIVIDAD

La radiactividad es una propiedad de ciertos elementos químicos cuyos núcleos atómicos son inestables: con el tiempo, para cada núcleo llega un momento en que alcanza su estabilidad al producirse un cambio interno, llamado *desintegración radiactiva*, que implica un desprendimiento de energía conocido de forma general como "radiación". La energía que interviene es muy grande si se compara con la desprendida en las reacciones químicas en que pueden intervenir las mismas cantidades de materiales, y el mecanismo por el cual se libera esta energía es totalmente diferente.

La radiactividad fue descubierta en 1896 por el químico francés Becquerel durante sus estudios sobre la fluorescencia. Observó que una placa fotográfica no expuesta a la luz y envuelta en papel negro era impresionada como por la luz visible o ultravioleta (o por los

rayos X recientemente descubiertos por Röntgen), cuando el paquete se ponía en contacto con compuestos del elemento pesado uranio. Dedujo (correctamente) que este elemento debía producir algún tipo de radiación la cual atravesaba el papel hasta alcanzar y afectar a la emulsión fotográfica. Un cuidadoso estudio emprendido por Becquerel y otros científicos, entre ellos los Curie, Joliot, Soddy, Rutherford, Chadwick y Geiger, reveló que cierto número de elementos químicos pesados (muchos de ellos no descubiertos antes a causa de su rareza) parecían ser interiormente inestables y daban a origen a radiaciones penetrantes. Con ello, esos mismos elementos se transformaban en otros diferentes, siguiendo caminos complicados, pero bien definidos, en busca de una estabilidad final. Este fenómeno totalmente distinto de cualquier otro estudiado hasta entonces, recibió el nombre de *radiactividad*, y el **proceso** de transformación fue llamado desintegración radiactiva.

EL ÁTOMO NUCLEAR

Se define el **número atómico** del elemento como la cantidad de protones que contiene el núcleo en uno de sus átomos.

La **masa atómica** es el peso comparado de un núcleo atómico. Su unidad es la u.m.a (unidad de masa atómica) que se define como la doceava parte del peso del carbono -12 . Un elemento es él y no otro por su número atómico. Así, el uranio lo es porque tiene 92 protones; si no fuera así dejaría de ser uranio. Sin embargo, un mismo elemento puede tener átomos de distinto número de neutrones. A los núcleos que tienen igual número de protones y distinto el de neutrones se les denominan isótopos. La existencia de isótopos de un mismo elemento es una razón por la que los pesos atómicos expresados en las tablas químicas no son números enteros.

Una anotación aceptada para indicar el número y la masa atómica de un núcleo es colocando la masa atómica en la parte superior izquierda del símbolo del elemento, y el número atómico en la inferior izquierda.

El número que indica la masa atómica se representa por A mayúscula y el que indica el número atómico se representa por una Z mayúscula.

Únicamente ciertas combinaciones de Z y A forman núcleos estables: si hay demasiados neutrones, o demasiados pocos, el núcleo sufrirá más pronto o más tarde un cambio, una desintegración radiactiva, que la llevará a la estabilidad en uno o varios pasos. El grado de inestabilidad se pone de manifiesto por la energía emitida en la desintegración, así como en la **velocidad** de ésta. Tal velocidad de desintegración se mide por la vida media o período de semidesintegración, que es el tiempo necesario para que el número de átomos inicialmente presente se reduzca a la mitad por desintegración. Los tiempos de semidesintegración varían desde fracciones de segundo hasta millones de años. La desintegración radiactiva puede tener lugar de varias maneras diferentes.

Para ver el gráfico seleccione la opción "Descargar" del menú superior

Desintegración Alfa

Un núcleo demasiado pesado para ser estable expulsa un **grupo** compacto (una partícula alfa), consistente en dos protones, y dos neutrones, que deja al núcleo con una A cuatro unidades menor y una Z dos unidades más bajas, es decir, dos pasos atrás en la tabla periódica. Estructuralmente una partícula alfa es idéntica a un núcleo de Helio -4 . La desintegración alfa es frecuente entre los elementos naturales más pesados (uranio, polonio, y radio, por ejemplo), pero no conduce directamente a núcleos estables: antes se producen isótopos intermedios que experimentan nuevas desintegraciones.

Las partículas alfa tienen una energía de hasta 5.000.000 de electrovoltios, pero son tan voluminosas que sólo pueden atravesar unos 25 mm de **aire** y se ven detenidas por una simple hoja de papel o por la parte más externa de la **piel** humana. Sin embargo, por esta misma razón produce serios daños en el interior del **cuerpo humano** cuando son emitidas por materiales alfa – **activos** absorbidos inadvertidamente como polvo transportado por el aire, o través de heridas contaminadas. Los emisores naturales de partículas alfa, como el

radio, son de uso práctico limitado, ahora que se dispone libremente de gran variedad de radioisótopos artificiales. No obstante, el uranio y su subproducto artificial, el plutonio (otro emisor alfa), son ambos fisibles y, por lo tanto, de importancia primordial en la **producción** de energía nuclear.

Desintegración Beta

Es un núcleo con demasiados neutrones, uno de estos puede transformarse en un protón más un electrón, que es expulsado en el núcleo. El electrón emitido de esta forma recibe el nombre de partícula β . El núcleo queda con una carga positiva más, con su Z en una unidad más alta y, por lo tanto, un lugar más arriba en la tabla periódica. Las partículas β son capaces de penetrar varios metros de aire, unos cuantos centímetros de tejido corporal o varios mm de metal o de **plástico** (que proporcionan un apantallamiento adecuado). Puede producir serias quemaduras superficiales o importantes daños internos sobre todo si son emitidos dentro del cuerpo durante periodos de tiempo algo prolongados. La desintegración β es el tipo más frecuente de desintegración radiactiva tanto entre los isótopos artificiales como entre **productos** radiactivos procedentes de la desintegración alfa. Algunos de los radioisótopos artificiales obtenidos en aceleradores de partículas o separados en los productos de fisión formados en reactores nucleares tienen pocos neutrones, en lugar de demasiados. Estos se desintegran emitiendo positrones (partículas como los electrones pero cargadas positivamente), que se neutralizan casi de inmediato con los electrones ordinarios para producir una "radiación de aniquilación", con las cualidades de los rayos gamma. Los isótopos que emiten positrones tienen aplicaciones en diagnóstico médica.

Emisión de rayos gamma

Esta emisión tiene lugar siempre que la desintegración beta no ha disipado suficiente energía para dar completa estabilidad al núcleo. Muchos isótopos naturales y artificiales con actividad alfa y beta son también emisores de rayos gamma. Los rayos gamma son una **radiación electromagnética** como los rayos X. Su intensidad se reduce al pasar a través de la materia en un grado que dependerá de su propia energía y de la **densidad** física del material absorbente. Los rayos gamma no son detenidos como las partículas alfa o beta, ni existen materiales opacos a ellos, como en el caso de la luz. Pueden necesitarse entre 5 y 25 centímetros de plomo o hasta 3 m de hormigón para conseguir una protección adecuada contra los rayos gamma de alta energía. El exceso de radiación gamma externa puede causar graves daños internos al organismo humano, peor no puede inducir radioactividad en él, ni en ningún otro material.

Otras formas de desintegración radiactiva son la transformación interna, en la que una reorganización interior del núcleo da como resultado la emisión de rayos X, o la captura de electrones, en la que un núcleo con demasiados protones captura un electrón de una orbita interna del propio átomo, convirtiendo así un protón en un neutrón, con emisión de rayos X y descenso de un lugar en la **tabla periódica** los núcleos de uranio – 235 y del U – 238 (emisores de partículas alfa), se desintegran alguna que otra vez por fisión nuclear espontánea, produciendo cualquier par de una gama de posibles núcleos de fisión, además de neutrones libres. El radioisótopo artificial californio – 252 se desintegra exclusivamente por fisión espontánea, proporcionando una fuente utilizable de neutrones. Unos pocos isótopos **producto** de fisión, en particular el yodo – 122, se desintegran con emisión retardada de neutrones poco después de haber sido formados y desempeñan un importante papel en el **control** de reactores.

La forma de desintegración, los tiempos de semidesintegración y las energías de emisión (energía máximas en el caso de partículas alfa y beta) son, en conjunto, características específicas que distinguen a un isótopo determinado y se pueden emplear para la identificación y medida de los propios emisores y, por tanto, de sus precursores, mediante la técnica de **análisis** por activación.

VELOCIDAD DE DESINTEGRACIÓN

La velocidad de desintegración de un isótopo puede caracterizarse mediante una constante denominada período de semidesintegración, que se define como el espacio de tiempo que debe transcurrir que una determinada masa de isótopo se hayan desintegrado la mitad de los átomos que la forman. Esta constante tiene **carácter** estadístico, ya que es imposible predecir en que momento se va a producir la desintegración de un determinado átomo.

Otra constante que también se utiliza es la **vida media** que se define como el **valor** medio de la vida de los átomos del isótopo. No deben confundirse ambos conceptos, ya que ha menudo se utilizan de forma errónea.

FISIÓN NUCLEAR

Se entiende por fisión, la división de un núcleo muy pesado en un par de núcleos de masa próxima a 60, proceso en el cual se libera gran cantidad de energía

A finales de 1938, O.Hann y F. Strassmann descubrieron en uranio bombardeado con neutrones, la presencia del radioisótopo ^{139}Ba , formado necesariamente por escisión del núcleo de uranio. Este proceso se denominó *Fisión nuclear*.

Según el **modelo** de la gota líquida, la fisión se produce porque al captar un neutrón, el núcleo oscila y se deforma, con lo que pierde su forma esférica adquiriendo la figura de un elipsoide entre cuyos extremos se produce una repulsión **electrostática** que puede llegar a provocar la rotura del núcleo pesado en dos fragmentos. En el caso del uranio-235, los fragmentos que se forman son núcleos de masas próximas a 95, el menor, y a 139, el mayor. Una reacción de fisión típica es:

$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{144}_{54}\text{Xe} + ^{90}_{38}\text{Sr} + 2^1_0\text{n}$

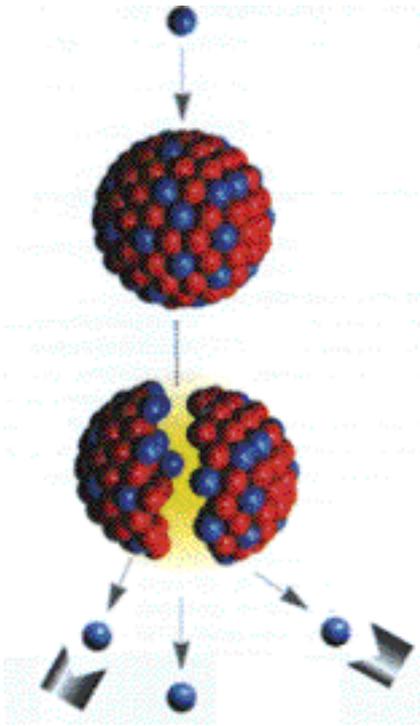
$^{235}_{92}\text{U} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^{144}_{54}\text{Xe} + ^{89}_{38}\text{Sr} + 3^1_0\text{n}$

Puesto que la relación neutrones/ protones es más elevada en el uranio que en los dos núcleos formados en la fisión, quedan dos neutrones en exceso que se liberan con gran energía. Si estos neutrones no son captados por núcleos de otros elementos y no escapan de la masa escindible, pueden provocar nuevas fisiones, siempre y cuando se hayan convertido en neutrones lentos mediante moderadores. Se logra así un proceso auto sostenido.

La energía liberada en la fisión de 1 g de uranio-235 es del orden de 108 kJ, es decir unos dos millones de veces la energía que se obtiene por **combustión** de 1 g de **petróleo**.

El primer reactor nuclear fue construido por Fermi en 1942, utilizando grafito como moderador. Así, los neutrones liberados al escindir un núcleo de uranio-235 provocaban la escisión de nuevos núcleos de uranio-235 o la transmutación del uranio-238 en plutonio-239, que es así mismo fisionable.

En las bombas atómicas de fisión, la explosión se produce al unir dos masas de material fisionable de tamaño inferior al crítico. Es decir, que el recorrido medio que debe atravesar un neutrón liberado, en una fisión espontánea para provocar una nueva fisión, es mayor que el diámetro de esas masas. Al unir las, se supera el tamaño crítico, con lo que se produce una reacción en cadena.

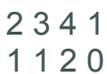


FUSIÓN NUCLEAR

En palabras sencillas, **fusión** nuclear es la unión de dos núcleos livianos acompañada por una liberación de energía.

Además de en la fisión de núcleos de átomos pesados, también se libera energía en la formación de núcleos intermedios a partir de núcleos muy ligeros, por ejemplo, de deuterio, ${}^2_1\text{H}$, y de tritio, ${}^3_1\text{H}$. Este proceso se conoce como *fusión nuclear*.

Una reacción de fusión típica es la unión de un núcleo del deuterio y uno de tritio para dar un núcleo de Helio y un neutrón:

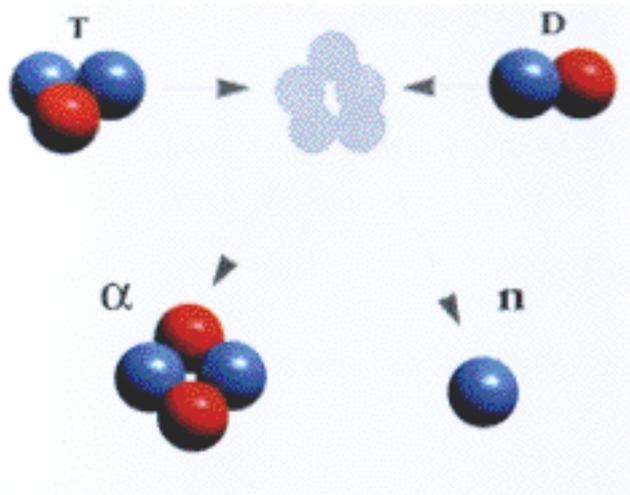


Por gramo de combustible, esta reacción comporta la liberación de tres o cuatro veces más energía que una reacción de fisión. La energía liberada corresponde a la diferencia de masa entre el núcleo formado y sus constituyentes.

Las reacciones de fusión son las responsables de la energía que emiten **el Sol** y las estrellas, en cuyo interior la **temperatura** es del orden de 20 millones de grados y los átomos de **hidrógeno** están completamente ionizados. La energía emitida por el Sol equivale a la pérdida de una masa de 4,3 millones de toneladas en un segundo.

A diferencia de lo que ocurre con la fisión, los productos que se forman en las reacciones de fusión no son radiactivos y, además, los isótopos ligeros necesarios para la fusión son comunes (por ejemplo el deuterio existe en el mar), de ahí las grandes esperanzas depositadas en llegar a producir energía a partir de un proceso de fusión. El problema más importante planteado estriba en que los núcleos que se fusionan deben poseer suficiente energía para vencer las fuerzas electrostáticas de repulsión, lo que exige temperaturas de millones de grados. El material se hallará así en **estado** de plasma, y este plasma debe confinarse durante un tiempo suficientemente largo en un **volumen** no muy grande para que se produzca una reacción auto sostenida.

En las bombas termonucleares (bombas de hidrógeno) la temperatura necesaria se alcanza mediante la explosión de una o más bombas atómicas que actúan como detonantes de la fusión subsiguiente.



USOS DE LA RADIOACTIVIDAD

El trazado isotópico en **biología** y en medicina

Los diferentes isótopos de un elemento tienen las mismas propiedades químicas. El reemplazo de uno por otro en una molécula no modifica, por consiguiente, la **función** de la misma. Sin embargo, la radiación emitida permite detectarla, localizarla, seguir su **movimiento** e, incluso, dosificarla a distancia. El trazado isotópico ha permitido estudiar así, sin perturbarlo, el funcionamiento de todo lo que tiene vida, de **la célula** al organismo entero. En biología, numerosos adelantos realizados en el transcurso de la segunda mitad del siglo XX están vinculados a la utilización de la radioactividad: funcionamiento del genoma (soporte de la **herencia**), **metabolismo** de la **célula**, **fotosíntesis**, transmisión de mensajes químicos (**hormonas**, neurotransmisores) en el organismo.

Los isótopos radioactivos se utilizan en la **medicina** nuclear, principalmente en las **imágenes** médicas, para estudiar el modo de acción de los medicamentos, entender el funcionamiento del **cerebro**, detectar una anomalía cardíaca, descubrir las metástasis cancerosas.

Las radiaciones y la radioterapia

Las radiaciones ionizantes pueden destruir preferentemente las **células** tumorales y constituyen una terapéutica eficaz contra el cáncer, la radioterapia, que fue una de las primeras aplicaciones del descubrimiento de la radioactividad.

En **Francia**, entre el 40 y el 50% de los cánceres se tratan por radioterapia, a menudo asociada a la quimioterapia o la cirugía. La radioactividad permite curar un gran número de personas cada año.

Las diferentes formas de radioterapia:

- La curioterapia, utiliza pequeñas **fuentes** radioactivas (hilos de platino - iridio, granos de cesio) colocados cerca del tumor.
- La tele radioterapia, consiste en concentrar en los tumores la radiación emitida por una fuente exterior.
- La inmunorradioterapia, utiliza **vectores** radio marcados cuyos isótopos reconocen específicamente los tumores a los que se fijan para destruirlos.

La esterilización

La **irradiación** es un medio privilegiado para destruir en frío los microorganismos: **hongos**, **bacterias**, **virus**... Por esta razón, existen numerosas aplicaciones para la esterilización de los objetos, especialmente para el material médico-quirúrgico.

La protección de las obras de arte

El tratamiento mediante rayos gamma permite eliminar los hongos, larvas, insectos o bacterias alojados en el interior de los objetos a fin de protegerlos de la degradación. Esta técnica se utiliza en el tratamiento de conservación y de restauración de objetos de **arte**, de etnología, de **arqueología**.

La elaboración de materiales

La irradiación provoca, en determinadas condiciones, **reacciones químicas** que permiten la elaboración de materiales más ligeros y más resistentes, como aislantes, cables eléctricos, envoltentes termo retractables, **prótesis**, etc.

La radiografía industrial X o g

Consiste en registrar la **imagen** de la perturbación de un haz de rayos X o g provocada por un objeto. Permite localizar los fallos, por ejemplo, en las soldaduras, sin destruir los materiales.

Los detectores de fugas y los **indicadores de nivel**

La **introducción** de un radioelemento en un circuito permite seguir los desplazamientos de un fluido, detectar fugas en las presas o canalizaciones subterráneas.

El nivel de un líquido dentro de un depósito, el espesor de una chapa o de un cartón en curso de su fabricación, la densidad de un producto químico dentro de una **cuba**... pueden conocerse utilizando indicadores radioactivos.

Los detectores de incendio

Una pequeña fuente radioactiva ioniza los átomos de **oxígeno** y de nitrógeno contenidos en un volumen reducido de aire. La llegada de partículas de humo modifica esta ionización. Por esta razón se realizan y se utilizan en los comercios, fábricas, despachos... detectores radioactivos sensibles a cantidades de humo muy pequeñas.

Las pinturas luminiscentes

Se trata de las aplicaciones más antiguas de la radioactividad para la **lectura** de los cuadrantes de los relojes y de los tableros de instrumentos para la conducción de noche.

La **alimentación de energía de los satélites**

Las baterías eléctricas funcionan gracias a pequeñas fuentes radioactivas con plutonio 239, cobalto 60 o estroncio 90. Estas baterías se montan en los **satélites** para su alimentación energética. Son de tamaño muy reducido y pueden funcionar sin ninguna operación de **mantenimiento** durante años.

La producción de electricidad

Las reacciones en cadena de fisión del uranio se utilizan en las centrales nucleares que, en Francia, producen más del 75% de la **electricidad**.

1. El ciclo del combustible nuclear

En un reactor, la fisión del uranio 235 provoca la formación de núcleos radioactivos denominados productos de fisión. La captura de neutrones por el uranio 238 produce un poco de plutonio 239 que puede proporcionar también energía por fisión.

Sólo una ínfima parte del combustible colocado en un reactor se quema en la fisión del núcleo. El combustible que no ha sido consumido y el plutonio formado se recuperan y se reciclan para producir de nuevo electricidad. Los otros elementos formados en el transcurso de la reacción se clasifican en tres categorías de residuos en función de su actividad, para ser embalados y luego almacenados.

2. La **seguridad nuclear**

La utilización de la fantástica fuente de energía contenida en el núcleo de los átomos implica el **respeto** riguroso de un conjunto de reglas de seguridad nuclear que permita asegurar el correcto funcionamiento de las centrales nucleares y la protección de la **población**.

3. Los residuos nucleares

Toda **clase** de actividad humana genera residuos. La **industria** nuclear no es una excepción a esta regla. Francia produce, de promedio, por año y por habitante:

- 5.000 Kg de residuos, de los cuales
- 100 Kg de residuos tóxicos, que incluyen
- 1 Kg de residuos nucleares de los cuales
- 5 gr de residuos son de alta actividad.

No sabemos aún destruir los residuos radioactivos. Su actividad disminuye naturalmente en el tiempo, más o menos rápido en función de su período. Deben utilizarse, por consiguiente, **técnicas** de confinamiento y de **almacenamiento**.

La reducción del volumen y de la actividad de los residuos radioactivos es, en Francia, un **objetivo** prioritario para **la investigación**. La amplitud del **comportamiento** a largo plazo de los residuos acumulados también es un eje primordial en la investigación

CONCLUSIÓN

Al estudiar los tipos de radiación que se emiten a partir del núcleo de un isótopo radiactivo nos encontramos con la emisión de tres partículas. Una de ella es la partícula alfa; en este caso, el número atómico del átomo original disminuye en dos y el número de masa disminuye en cuatro unidades; Otro es el caso de las partículas beta, donde el número atómico del núcleo original disminuye en una unidad y el número de masa no cambia y por último la radiación gamma, de alta energía, que carece de carga y masa, podemos concluir que con frecuencia se emiten junto con las partículas alfa o beta cuando un núcleo regresa a un estado más estable en contraste con los rayos X, y que se produce durante ciertas transiciones electrónicas entre distintos niveles de energía.

Cuando se desintegra un isótopo de un elemento se produce un isótopo de un elemento distinto; es decir, un tipo de átomo se transforma en otro. Una ecuación nuclear representa los cambios ocurridos y al balancearla, la suma de los números de masa de las partículas de cada lado de la ecuación deben ser iguales, y también deben serlo las sumas de las cargas nucleares.

Cuando se bombardean con neutrones con la energía apropiada, ciertos núcleos sufren una fisión, este proceso libera grandes cantidades de energía y se reúne cierta cantidad mínima (masa **crítica**) de un isótopo fisionable lo que puede desencadenar una reacción en cadena autosustentable al quedar algún neutrón. En una bomba de fisión (bomba atómica) la reacción en cadena avanza sin control, por esto sus consecuencias.

Durante la fusión nuclear se unen núcleos pequeños, como deuterio y tritio. Las reacciones de este tipo liberan más energía que las reacciones de fisión. La fusión nuclear no regulada ocurre en el sol y en las bombas de hidrógeno. La fusión nuclear regulada no se ha logrado, pero las **investigaciones** prosiguen.

La cantidad de electricidad que se puede generar a partir de las reservas mundiales de Uranio y de otros combustibles nucleares depende mucho de los tipos de reactores nucleares que se construyan. Un tipo de reactor es el **suprregeneradores** que puede producir una 60 veces más de energía que la que el mismo combustible generaría en un reactor térmico de los que actualmente se construyen. Sin reactores **suprregeneradores**, que aún han de desarrollarse a nivel comercial, el mundo sufriría **escasez** de Uranio dadas las fuentes actuales en un lapso de 40 años.

La energía geotérmica procede del **calor** almacenado en el interior de **la tierra**. La mayor parte de él se produjo y aun se produce por la lenta desintegración de elementos radioactivos que existen de modo natural en todas las **rocas**. La producción energética de todas las centrales geotérmicas equivale aproximadamente a la producción en un solo reactor nuclear grande.

La química nuclear ha adquirido una importancia extrema en medicina y ha hecho aportes considerables a la **agricultura** y la industria, e incluso a nuestra vida cotidiana. Es difícil que algunas facetas de la vida humana no hayan sido tocadas por los desarrollos en **la ciencia** nuclear. Los **eventos** históricos con relación a este tema nos **muestra** que el **conocimiento** no está limitado a una **nación** o grupo y cuando personas de diversa formación trabajan en colaboración, es mucho lo que se puede lograr. Además, la **ciencia** no se sostiene por sí sola: la solución de los **problemas** de la época actual depende de la capacidad del **hombre** para combinar la ciencia, la **política**, los **negocios** y los **valores** humanos.

BIBLIOGRAFÍA

- ENCICLOPEDIA SALVAT "CÓMO FUNCIONA". Radioactividad, átomo nuclear, desintegración alfa, beta y gamma.

Director Juan Salvat

Volumen IX Pue-Te Salvat Editores, S.A

Páginas 41 – 44

- NUEVA ENCICLOPEDIA TEMÁTICA "PLANETA", FÍSICA. Química, número atómico, masa atómica; Física, fisión y fusión nuclear; XXII generación de corrientes eléctricas.

Páginas 19 - 20 y 134 –135

Leer más: <http://www.monografias.com/trabajos16/radiactividad/radiactividad.shtml#ixzz3pZViXFGo>