

## SESIÓN 10

### FÍSICA NUCLEAR

#### I. CONTENIDOS:

1. Transmutación natural y artificial de los elementos.
2. Isótopos radiactivos.
3. Fisión y fusión nuclear.
4. Reactor nuclear.
5. La energía nuclear en México.

#### II. OBJETIVOS:

Al término de la Sesión, el alumno:

- Analizará la transmutación de los elementos.
- Comprenderá las aplicaciones de la fisión y la fusión nuclear.
- Describirá las partes de un reactor nuclear.

#### III. PROBLEMATIZACIÓN:

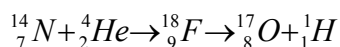
*Comenta las preguntas con tu Asesor y selecciona las ideas más significativas.*

- ¿Es realmente posible convertir el plomo en oro?
- ¿Cómo funciona una planta núcleo eléctrica?
- ¿Para qué sirve el carbono catorce?
- ¿Qué relación existe entre la masa y la energía?

#### IV. TEXTO INFORMATIVO-FORMATIVO:

##### **1.1. Transmutación natural y artificial de los elementos**

Los choques entre partículas atómicas fueron estudiados por primera vez por Rutherford, pudo constatar que si bombardeaba gas nitrógeno a baja presión con partículas alfa, se formaban átomos de un isótopo de oxígeno y una corriente de protones, a continuación se presenta la ecuación nuclear correspondiente.

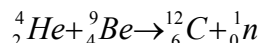


El primer símbolo es del nitrógeno, el segundo es de una partícula alfa, al bombardear el nitrógeno con partículas alfa se produce de manera momentánea un isótopo de flúor muy inestable que se descompone en un isótopo de oxígeno y en una corriente de protones. Es oxígeno 17 el isótopo que se forma, el último símbolo es el de un protón.

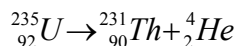
Para que la ecuación nuclear esté equilibrada es necesario que los números de arriba (superíndices izquierdos) sumen lo mismo a cada lado de la flecha que significa "forma o produce"; de igual modo los números de abajo (subíndices izquierdos) deben sumar lo mismo en cada lado de la flecha.

La anterior descripción es una transmutación artificial, es decir no ocurre de forma natural. El hombre ha intervenido en la naturaleza, aprovechando su conocimiento, y en la mayoría de los casos se han logrado avances útiles tales como: desarrollo de isótopos de vida media corta para la terapéutica contra el cáncer, o marcadores biológicos para la comprensión del metabolismo de algunos elementos químicos en el ser humano, animales y hasta en las plantas.

En 1932 Chadwick, bombardeando átomos de berilio con partículas alfa obtuvo por primera vez una partícula sin carga eléctrica: el neutrón. Su descubrimiento abrió el camino para nuevas investigaciones en la física nuclear.

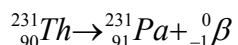


Cuando un núcleo inestable emite una partícula alfa, el número de protones disminuye en dos unidades y el número de masa en cuatro. Así se lleva a cabo una transmutación natural, el elemento radioactivo se transforma en otro con un número atómico dos unidades menor y con un número de masa de cuatro unidades menos. Al fenómeno se le conoce como decaimiento alfa, en él se avanza hacia atrás en la tabla periódica.



La anterior ecuación nuclear describe la transmutación natural del uranio 235, por decaimiento alfa en torio 231.

El decaimiento beta es la transmutación natural de un núcleo inestable a otro con un número atómico aumentado en una unidad, pero con el mismo número de masa. Del núcleo surge un electrón que se puede interpretar que formaba junto con un protón a uno de los neutrones. Al separarse el electrón del protón queda en lugar del neutrón un protón. Por eso no cambia el número de masa pero el número atómico aumenta en una unidad. En el decaimiento beta la transmutación hace que se avance hacia delante en la tabla periódica.

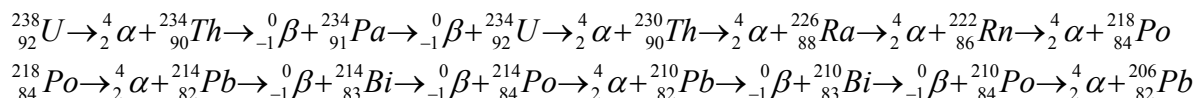


Arriba está la ecuación nuclear que describe la transmutación natural del torio 231 en protactinio 231 por decaimiento beta.

La emisión de rayos gamma no altera el número atómico ni el número de masa del isótopo radiactivo, sólo disminuye su energía interna. En este tipo de emisión radioactiva no se avanza ni se retrocede en la tabla periódica.

De acuerdo a todo lo que se ha comentado, un núcleo inestable es aquel que tiene un número diferente de neutrones del que corresponde a los núcleos estables de ese elemento químico. La inestabilidad nuclear se alivia con la expulsión de parte del material del núcleo o de energía. La razón entre el número de masa y el número atómico de un elemento proporciona una idea de la inestabilidad de los núcleos, un núcleo inestable es el que tiene una cantidad mayor o menor de neutrones con respecto a los núcleos que son estables. La transmutación natural del uranio 238 culmina en la formación de un isótopo estable de plomo 206.

A continuación se muestra la serie de desintegración radiactiva del uranio 238:



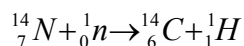
## 2.1. Isótopos radiactivos

Después del descubrimiento del radio en 1896, los Curie pudieron separar del cloruro de bario el cloruro de radio en una precipitación fraccionada utilizando alcohol. En 1902 Marie Curie preparó 0.1 gramos de cloruro de radio cuya radioactividad era casi tres millones superior a la del uranio. Pronto se encontró aplicación para el radio y otros elementos radioactivos, se puede tener una regresión de un proceso canceroso si se minimiza la afectación de las células cancerosas y se focaliza la radiación hacia los tumores. El costo de un gramo de radio es de 20000 dólares.

Desde 1950 se ha utilizado el isótopo de cobalto 60 como sustitución del radio; se aprovecha la emisión de rayos gamma que proporciona la desintegración radioactiva del isótopo. El isótopo tiene una vida media de 5.27 años, el equipo se conoce como bomba de cobalto tiene un costo de 25 millones de pesos, por esa razón los tratamientos son muy caros. Un tratamiento cuesta aproximadamente 100 mil pesos. La bomba de cobalto tiene una serie de controles que permiten

focalizar los rayos gamma sobre el tumor con la energía necesaria para destruir la masa del tumor y dañar lo menos posible el tejido circundante. Además se utilizan moldes de protección en las zonas próximas para proteger los tejidos sanos.

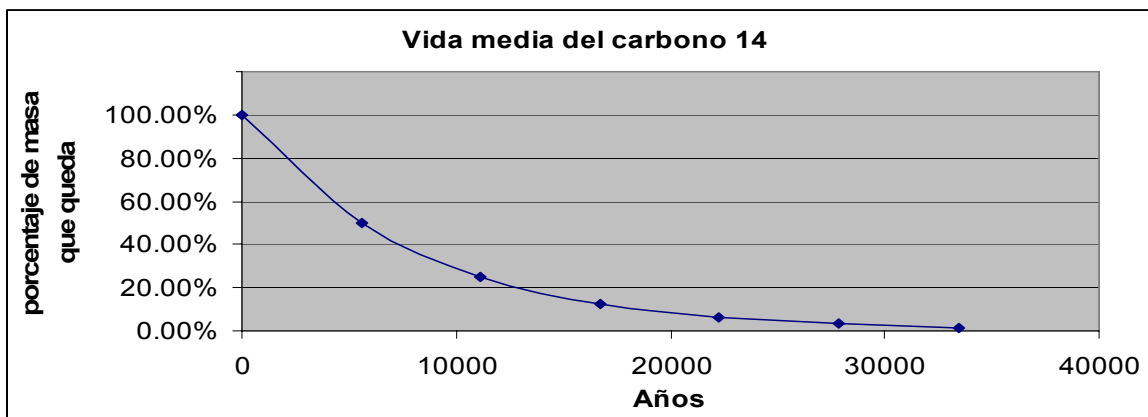
El carbono 14 es radioactivo, se forma por la interacción de los rayos cósmicos con el nitrógeno de la atmósfera. Los rayos cósmicos son partículas de alta energía que provienen del espacio, fueron descubiertos en 1883 por Víctor Hess. A continuación se muestra la ecuación nuclear que describe su formación:



Significa que el nitrógeno de la atmósfera al ser bombardeado por neutrones se transmuta en carbono 14 y además surge un protón por cada bombardeo. El carbono 14 se utiliza para determinar la edad de materiales carbonosos. La técnica fue desarrollada por el estadounidense Willard F. Lobby. Se puede determinar la edad de restos que contienen carbono con un error máximo de 200 años.

El carbono 14 se oxida formando bióxido de carbono, y se encuentra en proporciones constantes de una molécula de CO<sub>2</sub> radioactivo por cada 1000000000000 moléculas de CO<sub>2</sub> no radioactivo. A pesar de su concentración tan baja es posible aprovechar sus propiedades radioactivas. Ocurre que las plantas aprovechan el CO<sub>2</sub> sin discriminar si es radioactivo o no, lo utilizan para sintetizar azúcares simples y complejos que forman su alimento y constituyen prácticamente toda su estructura. La biomasa que se forma por la fotosíntesis, contiene la proporción señalada de carbono 14. Después, parte de esta biomasa es tomada como alimento por los herbívoros y luego los tejidos de los herbívoros por los carnívoros, hasta completar el ciclo alimentario.

La consecuencia de los fenómenos antes descritos es que todo tejido de origen vegetal o animal contiene esa proporción de carbono 14. Sin embargo, al morir el individuo, el carbono 14 comienza un proceso de desintegración radioactiva en el que pierde la mitad de su masa en un lapso de 5570 años. Esto significa que cada 5570 años la masa de carbono 14 disminuye a la mitad y por lo tanto su actividad radioactiva. Si la cantidad de carbono 14 es constante a lo largo de la historia, entonces midiendo la actividad del carbono 14 en algún tejido animal o vegetal de pasado se puede determinar su antigüedad.



### 3.1. Fisión y fusión nuclear

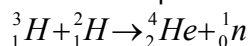
La liberación de energía del núcleo de los átomos fue un sueño acariciado durante décadas. El 6 de enero de 1939, los físicos alemanes Otto Hahn y F. Strassmann revelaron que cuando el uranio era bombardeado con neutrones se encontraron presentes como resultado de la reacción: cerio, kriptón, lantano y bario. La conclusión fue que el uranio se había fisionado, es decir, que se habían

dividido algunos átomos de uranio en otros de menor masa. El resultado de la división fue la formación de esos elementos que se encontraron sin causa aparente.

Se calculó después la cantidad de calor que se desprende por la fisión del uranio y resultó ser de dos y medio millones de veces mayor que la cantidad de calor que se puede obtener del carbono. Se había encontrado una fuente de energía fabulosa. El plutonio 239, que se obtiene del uranio 238, y el uranio 235 son isótopos fisionables. Si se bombardean unos cuantos kilogramos de estos isótopos, se lleva a cabo una reacción en cadena en la que de un núcleo fisionado por la adición de un neutrón se liberan al menos otros dos neutrones con la velocidad suficiente como para fisionar otros núcleos próximos. La liberación de energía es casi instantánea y equivale a decenas de miles de toneladas de trinitrotolueno (TNT).

La primera bomba atómica fue montada por los científicos de la Universidad de California y hecha explotar en Alamogordo, Nuevo México, en julio de 1945. Una bomba atómica consta de un mecanismo que comprime dos partes en que se encuentra separado el material fisionable para completar la masa crítica que es la mínima que se requiere para que se pueda presentar la reacción en cadena. La reacción en cadena es un proceso por el que los núcleos sin fisionar reciben de los núcleos ya fisionados neutrones con la energía suficiente como para que también se fisionen. Si no se alcanza la masa crítica, muchos de los neutrones que se liberan de los núcleos fisionados escapan por la superficie del cuerpo de uranio y no se inicia la reacción en cadena; se necesita que la cantidad de materia sea suficientemente grande como para que la producción de neutrones en su interior inicie y mantenga la reacción en cadena a pesar de los neutrones que escapan por la superficie. La energía que se libera es parte de la energía que mantenía unidos a los núcleos de uranio 235 o plutonio 239; como se fisionan una cantidad enorme de núcleos y de cada núcleo se libera energía, la cantidad total de energía liberada es apabullante, a pesar de que sólo el 0.1% de la masa de los átomos fisionables se transforma en energía.

La fusión nuclear es otro fenómeno en donde participa la energía del núcleo de algunos átomos. Pero en este caso la liberación de energía es mucho mayor; se tiene estimado que en un proceso de fusión nuclear el 0.7% de la masa de los átomos que participan se transforma en energía. La fusión nuclear consiste en la unión de dos núcleos ligeros para formar uno más pesado. En el sol el proceso ha estado operando desde hace más de 5000 millones de años. Se liberan al sistema solar cantidades enormes de energía y ésta es indispensable para la vida en la tierra.



Un isótopo de tritio y otro de deuterio se funden para formar un átomo de helio y un neutrón. Parte de la materia que formaba a los isótopos que se funden, no participa en la formación del nuevo átomo sino que se transforma en energía que se libera a los alrededores. Se ha comprobado que si se integran 90 Kg de deuterio y 136 Kg de tritio a una bomba atómica de fisión, la temperatura alcanzada por el proceso de fisión nuclear es de millones de grados centígrados es suficiente para que se inicie el proceso de fusión de los isótopos de hidrógeno. El resultado es un artefacto con una potencia mil veces superior a la bomba atómica ordinaria, a esta arma se le conoce como bomba de hidrógeno o bomba H. Una de estas bombas puede destruir la ciudad más grande del mundo. Actualmente se están desarrollando medios para aprovechar la energía de fusión nuclear, los problemas a los que se enfrentan los investigadores son, entre otros, cómo iniciar el proceso si se requieren muy altas temperaturas.

#### 4.1. Reactor nuclear

Un reactor nuclear es una instalación que tiene por objetivo el aprovechamiento de la energía liberada en un proceso de fisión nuclear para transformarla en energía eléctrica y con ella abastecer las necesidades energéticas de ciudades. Utiliza para ello combustible de uranio empobrecido, una serie de barreras de contención de la radiación, un sistema de refrigeración, un intercambiador de calor que lleva el mismo hasta generadores de vapor de agua, y una serie de

turbinas que transforman la energía cinética de las moléculas del vapor en movimiento rotacional que se integra con campos magnéticos en un generador para producir energía eléctrica. Los reactores nucleares producen calor, neutrones e isótopos radioactivos útiles, a través de un proceso de reacción en cadena controlada.

El combustible que utiliza un reactor nuclear debe tener una baja concentración de uranio 235 a fin de prevenir un accidente nuclear. Cuenta con barreras de protección, como blindaje, en caso de explosión, estas son gruesas capas de acero y concreto. Se utiliza un moderador que puede ser grafito para absorber neutrones y evitar a toda costa una reacción en cadena. También se dispone de barras de boro o cadmio que se absorben neutrones y con ellas se puede regular la temperatura del núcleo del reactor. La refrigeración del reactor se puede hacer con agua, pero provoca contaminación térmica en los alrededores, se han desarrollado torres de enfriamiento que radian el calor al aire, en donde el daño al ambiente es mucho menor. El intercambiador de calor utiliza un flujo de sodio líquido que viene del núcleo del reactor y lleva la energía térmica a un flujo de agua hasta vaporizarla; el vapor mueve las turbinas de un enorme generador de corriente eléctrica para llevarla a ciudades.

### 5.1. La energía nuclear en México

Las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en México han comenzado desde la segunda mitad del siglo XX. En el año de 1946, fue invitado el Doctor Nabor Carrillo Flores por el gobierno de Estados Unidos, como observador de una prueba atómica en el atolón de Bikini. En ese año se incorporó a la investigación de la energía nuclear el científico mexicano Manuel Sandoval Vallarta, quien trabajó por muchos años en el departamento de física del Instituto Tecnológico de Massachussets. El 15 de octubre de 1946 el presidente Manuel Ávila Camacho expidió un decreto por el cual se reservaba la explotación del uranio en territorio nacional al ejecutivo nacional. Durante el gobierno siguiente, el del presidente Adolfo Ruiz Cortines, Estados Unidos buscó aprovechar el uranio mexicano, tratando de convencer al presidente de que se hiciera un acuerdo binacional para la explotación del uranio, el presidente no aceptó.

A instancias del Doctor Nabor Carrillo Flores, se creó el 1º de enero de 1956 la Comisión Nacional de Energía Nuclear. En 1972 el organismo cambió su nombre a Instituto Nacional de Energía Nuclear. En 1979 se dividió en el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) y en la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardas (CNSNS). El ININ realiza investigación y desarrollo en el área de la tecnología nuclear, proporciona asesorías y servicios a la industria y a los centros de medicina nuclear.

En el país, aparte de algunos reactores dedicados a la investigación, se cuenta con una central nuclear que tiene dos reactores de 682.5 MW cada uno. La central está ubicada en Alto Lucero de Gutiérrez Barrios, Veracruz. La construcción del primer reactor comenzó en 1976 y empezó a operar trece años después. Se inició la construcción del segundo reactor en 1977 y fue conectado a la red de la CFE en 1995. En 2007 se anunció un incremento de la capacidad de la central en un 20% y la CFE otorgó la licitación para la adecuación de la central a una empresa española.

El 14 de febrero de 1967 se firmó en Tlatelolco un tratado para la no proliferación de armas nucleares en América Latina y el Caribe. Los países que lo han firmado se comprometen a no producir, almacenar o comercializar armas nucleares, y se espera que las potencias respeten el territorio de las naciones firmantes en caso de una contienda nuclear internacional.