



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**“ ASPECTOS SANITARIOS RELACIONADOS
CON EL USO DE ENERGÍA NUCLEAR ”**

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA FARMACÉUTICA BIÓLOGA

PRESENTA:

EDNITA ARACELI HERNÁNDEZ CASTILLO

MÉXICO, D. F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: PROFESOR JUAN MANUEL NAVARRETE TEJERO

VOCAL: PROFESORA SOFÍA GUILLERMINA BURILLO AMEZCUA

SECRETARIO: PROFESOR BENJAMÍN RUÍZ LOYOLA

1ER SUPLENTE: PROFESOR JOSÉ MANUEL MÉNDEZ STIVALET

2DO SUPLENTE: PROFESORA MARTHA LETICIA JIMÉNEZ PARDO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

SECCIÓN DE QUÍMICA EXPERIMENTAL APLICADA.

FACULTAD DE QUÍMICA. EDIF. A. 4° PISO. LABORATORIO 4C.

UNAM.

ASESOR DEL TEMA: QUIMICO BENJAMÍN RUÍZ LOYOLA

SUSTENTANTE: EDNITA ARACELI HERNÁNDEZ CASTILLO

DEDICATORIAS

- Este trabajo lo dedico especialmente a mi familia ya que son el eje principal de mi vida. A mis papas porque gracias a su tiempo, dedicación y esfuerzos me ayudaron a terminar la carrera porque sin ellos muy posiblemente me hubiera quedado en el intento. A mi hermano Jorge y hermanas: Lucero, Mariana, Erika, Yishel, Priscila, Lizbeth e Iliana porque me han acompañado y apoyado (pese a no agradarles mis decisiones) en todo momento, sin más palabras para poder expresarme: este es un gran triunfo para mí y uno más para la familia!!
- Agradezco la colaboración del profesor Benjamín Ruiz Loyola quien también es amigo querido por su tiempo y apoyo brindados en toda la carrera, al profesor Manuel Navarrete quien dedicó esmero para lograr una tesis de nivel y al jurado porque hizo finalmente posible este sueño: la titulación.
- A mis amigos que en su mayoría los conocí en esta majestuosa carrera con los cuales tuve bastantes momentos agradables, de pasión en el estudio, tristezas, presiones y desveladas, como es muy difícil una dedicatoria para cada uno y sin querer dejar de nombrar a ninguno, anotaré sus nombres pero saben que cada uno es importante para mí: Paco, Ale, Xavi, Blanquita, Gaby, Omar, Pepe, Gerry, John, Iroel, Antonio, Carlos, Roman, Pepenas, Tania, Adriana, Irene, Isabel, Maggy, Laura, MariCarmen, Denia, Graciela, Marcos, Marisol, Edgar, Silvia, Michael, Azalea y Moy por darme la mano en un momento clave.

ÍNDICE

CAPÍTULO	TEMA	PÁGINA
1	INTRODUCCIÓN	5
2	GENERALIDADES	7
	IMPORTANCIA Y APLICACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR	18
	CONCEPTOS A TRATAR DE LA ENERGÍA NUCLEAR	25
	ENERGÍA DE FISIÖN	29
3	TRATAMIENTO DE RESIDUOS PELIGROSOS	36
4	USOS PACÍFICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR	42
5	USOS PROSCRITOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR	44
6	AFECTACIONES A LA SALUD RELACIONADOS CON LA ENERGÍA NUCLEAR	46
7	REGULACIONES INTERNACIONALES -TRATADO DE PROHIBICION COMPLETA (CTBT) DE LOS ENSAYOS NUCLEARES- MÉXICO	56 63
8	CONCLUSIONES	65
9	GLOSARIO	69
10	BIBLIOGRAFÍA	79

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

“ No veo prestigio del pasado ni un prospecto para el futuro”.

James Hutton(1726-1797).

Geólogo escocés. Está considerado el padre de la geología moderna.

Otto Hahn, (1879-1968).

Químico alemán que ganó el premio nobel de química en 1944 por sus trabajos pioneros en el campo de la radiactividad.

Este trabajo de investigación es una contribución al estudio de la energía nuclear desde un punto de vista químico y social. Se centra en los pros y contras de dicha energía que abarcan los diferentes niveles del conocimiento (morfológico, sintáctico, semántico, etc.) y las interrelaciones entre ellos ya que hay muchos mitos alrededor del tema sin darnos cuenta que actualmente se conoce bastante de el.

Al mismo tiempo permite la utilización incremental de recursos naturales como U^{235} que es el principal combustible nuclear y busca ser valorados en el mundo (tomando en cuenta aplicaciones en medicina, inorgánica, orgánica, fisiología, biología, etc.) como fuente de energía con el fin de producir energía eléctrica en el mundo principalmente.

Así como los impactos sociales y económicos que con el uso de la energía nuclear se ven reflejados en el ser humano, también como afectan ó benefician actualmente a la población.

En el primer capítulo, introducción, se revela la importancia de la energía nuclear ya que es la principal razón por la cual se realiza este trabajo para

conocer el Impacto que tiene en un ambiente social y cultural; que se ve influenciado por los medios de comunicación –radio, periódicos, televisión, programas especiales, etc. en las prácticas de recepción y difusión de información en cuanto al tema; así como la justificación de este trabajo.

En el capítulo segundo, se refiere a las generalidades de la energía nuclear, es decir, no se limita a definiciones sino también a descripción de conceptos y a un amplio enfoque sobre la energía nuclear.

Los capítulos 3, 4 y 6 constituyen los capítulos centrales de la tesis; se basa en un trabajo de investigación, de registro de hechos y documentación en cuanto a los posibles "usos de la energía nuclear", en caso de usos proscritos (negativos), los daños que puede causar principalmente al ser humano, ya que con base en estos capítulos y la información recaudada se definirá una posición en cuanto a la energía nuclear de forma coherente.

En el quinto capítulo, se hace referencia a las leyes, en este caso "Tratados" que prohíben las explosiones de armas nucleares o limiten las emisiones de gases tóxicos y sus respectivas sanciones.

El séptimo capítulo se enfoca a una decisión final acerca de una postura firme, analizada y concreta a favor o en contra de la energía nuclear basada en la investigación de este trabajo.

CAPÍTULO 2 GENERALIDADES

“Roentgen (descubridor de los rayos X) investigó los detalles más minuciosos, por eso tuvo éxito donde los demás fracasaron; no quiso patentar su descubrimiento, cuando se lo propuse manifestó que lo legaba para beneficio de la humanidad.”

Thomas Alva Edison (1847-1931)

Inventor de los Estados Unidos. Parcialmente sordo, inventor del fonógrafo, perfecciono la lámpara incandescente, descubrió el efecto Edison, entre muchos otros.

RADIACIÓN NUCLEAR.

En 1896 el físico francés Henri Becquerel descubrió que algunos elementos químicos emitían radiaciones^[1] como una consecuencia directa del descubrimiento de los rayos X por Röntgen, algunos meses antes. El término actual; radiactividad, no aparece sino un año después en una publicación de Pierre y Marie Curie (1867-1934. Física y química polaca, pionera en el campo de la radiactividad, primera persona en conseguir dos premios nobel y primera mujer en ser profesora en la Universidad de París^[2]) sobre sus investigaciones químicas de la peblendita, un mineral conteniendo radio y uranio^{[3], [4], [5]}, dando lugar a la creación de nuevas disciplinas científicas:

-Radioquímica

-Química de las radiaciones

-Física nuclear

-Física de neutrones

-Radiología

-Química nuclear

-Ingeniería nuclear

-Medicina nuclear

-Seguridad radiológica

Estas disciplinas científicas presentan amplias zonas comunes. Así por ejemplo las reacciones nucleares o sea el proceso por el cual núcleos atómicos de un elemento absorben otro núcleo, una partícula subnuclear o una radiación electromagnética, para emitir radiaciones casi en el momento mismo de ocurrir la reacción, son estudiadas desde muy diversos puntos de vista por la radioquímica, la química, física o ingeniería nuclear, la física de neutrones o la seguridad radiológica.

El establecimiento formal de la tabla periódica que actualmente conocemos se debió fundamentalmente a Mendeleiv, ordenados por su número atómico (Z). Se sabe que existen en la naturaleza 82 elementos estables hasta el nivel del bismuto. Del bismuto Bi (con número atómico 83) al U(92) todos los elementos están formados por isótopos radiactivos, igual que todos los elementos sintéticos del 93 al 116. Varios isótopos radiactivos presentes en los elementos del hidrógeno al bismuto fueron formados continuamente por reacciones nucleares en la atmósfera terrestre o junto con los isótopos estables de los elementos.

Un núclido es un átomo con una constitución nuclear característica, es decir, un número atómico determinado (Z) y un número de masa (A) específico. Son llamados isótopos los núclidos que tienen el mismo valor de número atómico, pero diferentes valores de número de masa y poseen idénticas propiedades químicas, es decir, variedades de cada elemento con igual número atómico ($Z = \text{protones}$) que determina la identidad de los elementos, pero distinto número de masa atómica ($A = Z + N$, protones + neutrones), por lo tanto, son átomos inestables.

La palabra Isótopo, del idioma griego significa "en el mismo sitio", se usa para indicar que todos los Isótopos de un mismo elemento se encuentran en el mismo sitio de la tabla periódica, Un isótopo radioactivo no es estable, la relación entre el número de protones y de neutrones no es la apropiada, es decir, que se mantienen en un estado de excitación en sus capas electrónicas ó nucleares, con lo que para alcanzar su estado fundamental deben perder energía. Por ejemplo; en la naturaleza el carbono orgánico se presenta como una mezcla de tres isótopos con números de masa: C^{12} , C^{13} y C^{14} . [35]

En 1932 James Chadwick descubrió la existencia del neutrón que Wolfgang Pauli había predicho en 1930, e inmediatamente después Enrico Fermi explicó que ciertas radiaciones emitidas en fenómenos no muy comunes de desintegración eran en realidad estos neutrones, la física nuclear primero usando aceleradores de partículas cargadas (protones, deuterones, alfas) y después reactores nucleares para producir neutrones, desdobló la tabla periódica en lo que se conoce por los isótopos de los elementos. Solamente 30 años después, se llegaba ya al conocimiento de 276 isótopos estables en la naturaleza, contando por ejemplo, solamente el estaño, con diez de ellos. Muchos más de los isótopos generados artificialmente fueron inestables o radiactivos pudiendo contarse ya en las tablas de 1962, con un total de 1400.

RADIATIVIDAD

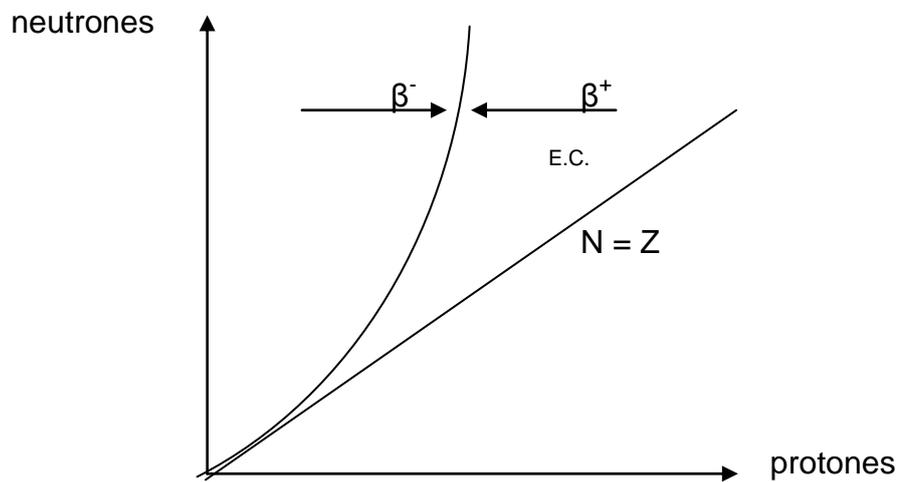
La materia es radiactiva cuando los núcleos atómicos emiten partículas subnucleares, o radiación electromagnética característica, sin masa ni carga, teniendo lugar un intercambio de energía al mismo tiempo.

La radiactividad es un fenómeno físico natural por el cual algunos cuerpos o elementos químicos llamados inestables (radiactivos), emiten

radiaciones que tienen la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc. debido a esa capacidad se las suele denominar radiaciones ionizantes (en contraste con las no ionizantes).^[4] Las radiaciones emitidas pueden ser electromagnéticas en forma de rayos X o rayos gamma o partículas como electrones (partículas β^+ o β^-) o núcleos de helio (partículas α).

RELACIÓN ENTRE RADIATIVIDAD Y NÚMERO DE MASA

La radiactividad que existe en la naturaleza es producida principalmente por elementos muy pesados, con gran número de protones y neutrones que representan un gran número de masa. Si se traza una gráfica de N vs Z para los 274 núclidos estables encontrados en la naturaleza, se obtiene una curva que principia por tener una pendiente de 45grados (cuando $N = Z$ en los elementos ligeros), la cual aumenta después (cuando $N > Z$ en los elementos pesados).

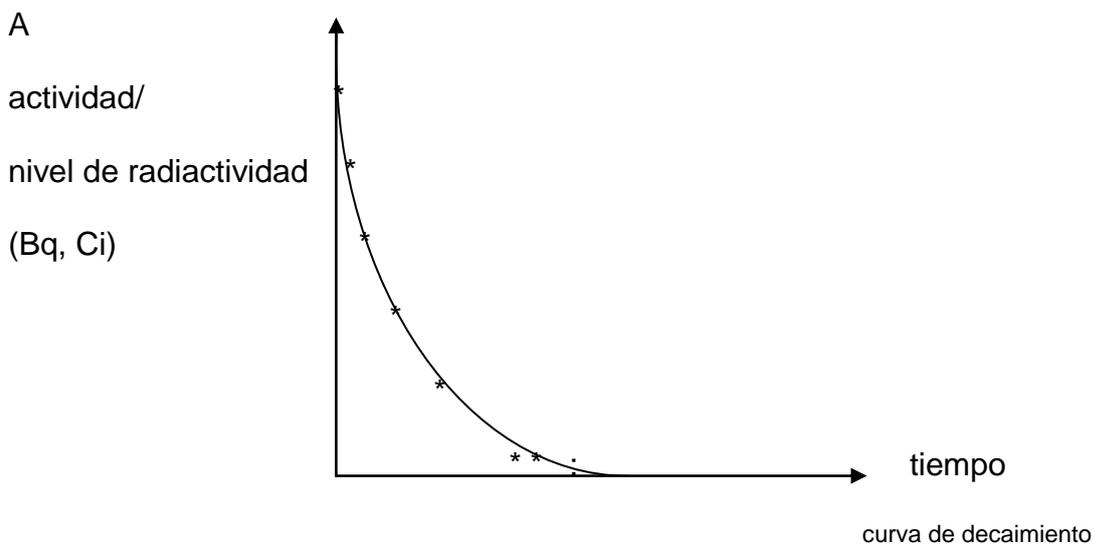


razón de neutrones a protones en los elementos naturales

DECAIMIENTO RADIATIVO

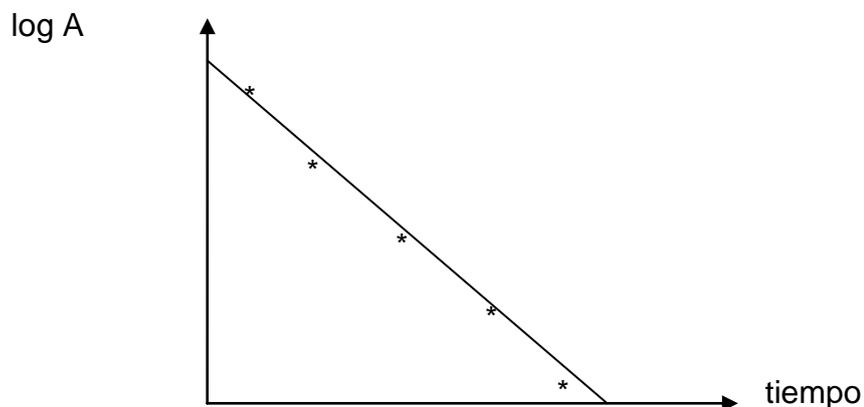
El proceso de desintegración radiactiva es cuando un núcleo radiactivo de un radioisótopo particular emite partículas o rayos, perdiendo masa o pura energía y convirtiéndose en algún otro elemento en el primer caso o el mismo

elemento en otro estado de energía en el segundo, sólo sucede cuando hay un excedente de masa-energía. Este es un proceso espontáneo y al azar, esto es, el instante en el cual un núcleo va a decaer es independiente del decaimiento de otros núcleos y sólo puede ser precisado en términos de probabilidad por la constante de decaimiento radiactivo. Esta probabilidad se mide por la constante de decaimiento λ , valor característico para cada especie radiactiva, la cual es directamente proporcional a la rapidez o velocidad de desintegración en función del número de núcleos radiactivos presentes en una muestra, y nos mide la probabilidad de cada núcleo radiactivo para decaer antes o después en el tiempo.



Por tanto, los resultados de la detección radioactiva tienen necesariamente una significación estadística, y el número de desintegraciones que con mayor probabilidad puede ocurrir en un tiempo dado se establece de acuerdo a reglas de estadística, habiendo siempre un margen de desviación o error con respecto al valor promedio. O sea que en toda medición radiactiva no obtenemos un número de cuentas exacto e invariable en iguales períodos de tiempo, sino que solamente resulta posible establecer una rapidez de cuentas promedio, que viene a ser un adecuado reflejo del nivel de radiactividad

medido. El decaimiento radiactivo es independiente de factores externos y tiene la misma posibilidad de desintegración en la unidad de tiempo.



línea de decaimiento (trazo en papel semilogarítmico)

La vida media ($t_{1/2}$) del radioisótopo en cuestión, se define como el tiempo tomado por cualquier actividad inicial de un radionúclido particular para ser reducida a la mitad, es decir, el tiempo característico de cada especie radiactiva necesario para reducir a la mitad el número de núcleo presentes. Esta puede ser de fracciones de microsegundo a miles de millones de años. Para determinar vidas medias extremadamente cortas o largas, es necesario diseñar métodos especiales que implican el uso del decaimiento radiactivo. ^[4]

La radiactividad puede ser:

- natural: manifestada por los isótopos que se encuentran en la naturaleza.
- artificial o inducida: manifestada por los radioisótopos producidos mediante transformaciones nucleares. ^[3]

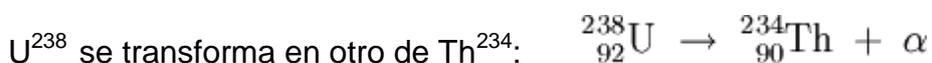
Las radiaciones emitidas por el núcleo atómico son de 4 especies principales:

1. PARTÍCULAS ALFA (α). Emisión de átomos con dos neutrones* asociados con dos protones, partícula subatómica con una carga eléctrica positiva. ^[4] En 1907 el físico británico Sir Ernest Rutherford dedujo que las partículas alfa son núcleos de átomos de helio, como más tarde confirmaría la investigación de Ernest Rutherford y Thomas Royds.

El helio es el segundo elemento más abundante del universo tras el hidrógeno y constituye alrededor del 20% de la materia de las estrellas, en cuyo proceso de fusión nuclear desempeña un importante papel. [6]

Las partículas alfa tienen una masa de 4 u.m.a.(unidades de masa atómica) y 2 cargas positivas. Las partículas α son monoenergéticas y generalmente tienen mayor energía que las β^- debido a su masa mucho mayor. Las partículas β^- tienen todas diferentes energías siendo la energía promedio 1/3 de la máxima, por tanto, el número de iones primarios formados es mayor en las partículas α .

Un tipo de decaimiento radiactivo ocurre cuando un núcleo pesado emite una partícula alfa. En su emisión el núcleo cambia, por lo que el elemento químico que sufre este tipo de desintegración muta en otro distinto. Fue en 1928 cuando George Gamow dio una explicación teórica de la emisión de estas partículas. Una reacción natural típica es la siguiente: en la que un átomo de



Sólo isótopos de los más pesados elementos, con $Z > 82$, emiten partículas α para conseguir su estabilidad. Ellos pierden 2 unidades en carga y 4 en masa cuando estas partículas son lanzadas por el núcleo, mismas que resultan enormes si se comparan a las partículas β (aproximadamente 7 mil veces mayores). Por tanto, cuando una partícula α incide sobre un electrón, lo despide fuera del átomo sin que su trayectoria sea modificada. La trayectoria de la partícula α es muy corta, o sea que entregan su energía en gran número de colisiones durante un corto trayecto. Esto significa que los elementos radiactivos que decaen por la emisión de partículas α pasan a ocupar un sitio 2 lugares a la izquierda de su colocación original en la tabla periódica de los elementos. Debido al "efecto túnel" en algunas ocasiones esas partículas

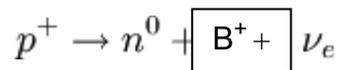
superan el pozo de potencial que crea el núcleo separándose de él a una velocidad de un 5% la velocidad de la luz.

El espesor de materia que las partículas α pueden atravesar antes de perder toda su energía es llamado alcance o rango de las partículas. Así el alcance o rango es función de la energía de las partículas, ^[4] β^+ o β^-

2. PARTÍCULAS BETA (β). Son partículas de masa despreciable (su masa es la del electrón o sea aproximadamente 1/1832 de aquella del protón y 1/1834 del neutrón) y presenta carga positiva ó negativa.^[4] La desintegración beta hace cambiar al elemento químico que la sufre. Hay dos tipos de desintegración: beta positivo y beta negativo.

El beta positivo (β^+) ó positrón es emitida cuando un protón se transforma en un neutrón emitiendo un positrón* (β^+) y un neutrino* (ν_e), partículas de la misma masa que el electrón pero con carga positiva y son emitidas por el núcleo.^[4]

Este modo no se presenta de forma aislada, sino que necesita un aporte de energía:



Los núclidos que se encuentran con un exceso de protones, tienden a emitir β^+ .

El beta negativo (β^-) es la emisión de un electrón* acompañado de un antineutrino y la fuerza débil convierte un neutrón (n^0) en un protón (p^+). En la desintegración β^- el elemento se transforma en otro con un protón más e igual número de masa: $n^0 \rightarrow p^+ + \boxed{B^-} + \bar{\nu}_e$ ya que la masa de $\beta^- + \nu_e$ resulta despreciable.

Los núclidos que se encuentran con en exceso de neutrones, tienden a emitir partículas β^- . Así en la desintegración del Cs^{137} por partículas beta negativo β^- aparece Ba^{137} .

Las partículas beta negativas β^- son mucho más pequeñas y ligeras que las partículas α y se mueven más rápidamente, en consecuencia su trayectoria resulta más larga.

3. RAYOS GAMMA (γ). Es un tipo de radiación electromagnética (emisión de fotones de frecuencia muy alta), similares a los rayos X, la luz u ondas de radio, pero con mucho menor longitud de onda y en consecuencia mucho mayor energía. Los rayos γ son emitidos por la desexcitación del núcleo y en la desintegración de isótopos radiactivos (donde el átomo radiactivo se conserva igual; pero con un estado de energía menor), también por procesos subatómicos como la aniquilación de un par positrón-electrón^[7], a menudo son llamados fotones, cuando se consideran como paquetes de energía con valor constante emitidos por un núcleo radiactivo al decaer, es decir, decaen a un nivel inferior de energía. Los rayos γ , al igual que los X, tienen energías bien definidas ya que los segundos son producidos por la transición entre un estado de excitación del átomo a otro de inferior energía, por el cambio de un electrón fuera del núcleo a una órbita inferior. Como estos procesos ocurren entre dos niveles definidos de energía, las radiaciones resultantes tienen una dimensión energética específica. Los rayos γ dan lugar a los efectos fotoeléctricos; tratándose de radiaciones electromagnéticas de baja energía. El modo de interacción de los rayos X y γ con la materia es el mismo en esencia, difiriendo solamente en la cantidad de energía que disipan ó transfieren en la materia al ser absorbidos, Así la interacción de rayos γ con la materia se clasifica en efecto fotoeléctrico, efecto Compton y producción de pares.^[4]

En general, los rayos gamma producidos en el espacio no llegan a la superficie de la Tierra, pues son absorbidos en la alta atmósfera.

Estos rayos gamma se producen en fenómenos astrofísicos de alta energía como explosiones de supernovas* ó núcleos de galaxias activas ^[8]. En Astrofísica se denomina GRB (Gamma Ray Bursts) a fuentes de rayos gamma que duran unos segundos ó unas pocas horas siendo sucedidos por un brillo decreciente de la fuente en rayos X durante algunos días. Ocurren en posiciones aleatorias del cielo y su origen permanece todavía bajo discusión científica. En todo caso parecen constituir los fenómenos más energéticos del universo. Debido a las altas energías que poseen, los rayos γ constituyen un tipo de radiación ionizante capaz de penetrar en la materia más profundamente que la radiación α ó β . Dada su alta energía pueden causar grave daño al núcleo de las células, por lo que son usados para esterilizar equipos médicos y alimentos. ^{[9], [10]}

Es llamada transición isomérica el proceso por el cual un núclido emite un rayo gamma, permaneciendo con iguales número atómico y de masa, pero en un nivel inferior de energía.

4. NEUTRONES (n). Son partículas sin carga teniendo una masa de aproximadamente de 1 u.m.a. Por tanto, los núcleos perdiendo neutrones no cambian su número atómico pero su número de masa disminuye una unidad por cada neutrón emitido. La emisión de neutrones se produce durante los eventos de fisión nuclear de metales pesados o por reacciones nucleares características, como será visto posteriormente,

La unidad más conveniente para medir la energía de las radiaciones nucleares es el megaelectrónvoltio (MeV) un millón de electrones voltio, que se define como un millón de veces la energía adquirida por un electrón cuando es

acelerado por una diferencia de potencial de 1 voltio. Un megaelectrónvoltio es equivalente a 1.6×10^{-6} ergio y a 3.82×10^{-14} calorías. ^[4]

PROCESO	RADIACIÓN			EFECTO EN EL NÚCLIDO	
	TIPO	CARGA	MASA	CARGA	MASA
Emisión α	part. α	+ 2	4	- 2	- 4
Emisión β	β^-	- 1	despreciable	+ 1	0
	negatrones				
	β^+	+1	despreciable	- 1	0
	positrones				
Emisión γ	rayos γ	0	0	0	0
(transición isomérica)					
Captura electrónica	rayos X	0	0	0	0
Conversion interna	e^-	- 1	despreciable	+ 1	0

IMPORTANCIA Y Aplicación DE LA ENERGÍA NUCLEAR

“ La velocidad del tiempo es infinita”.

Lucio Anneo Seneca

Filósofo latino.

IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA NUCLEAR.

Existen dos formas de aprovechar la energía nuclear:

- La fisión nuclear*, en la que un núcleo atómico generalmente pesado se subdivide en dos ó más núcleos pequeños ó grupos de partículas. ^{[11], [12]}
- La fusión nuclear*, consiste en la unión de dos ó más núcleos atómicos ligeros para dar lugar a otro diferente más pesado. ^{[13], [14]}

Sin embargo, no fueron derivadas hasta 1955 por John D. Lawson las condiciones que eran necesarias para alcanzar la ignición* de un reactor de fusión controlado, Los criterios de Lawson definieron las condiciones mínimas necesarias de tiempo, densidad y temperatura que debía alcanzar el combustible nuclear (núcleos de hidrógeno) para que la reacción de fusión se mantuviera. ^{[15], [16], [17], [18]}. Los núcleos atómicos tienden a repelerse debido a que están cargados positivamente, esto hace que la fusión solo pueda darse en condiciones de temperatura y presión muy elevadas que permitan compensar la fuerza de repulsión, esto es posible por el efecto túnel (cuando una temperatura elevada del orden de millones de grados hace que aumente la agitación térmica de los núcleos y esto los puede llevar a fusionarse). El mismo efecto se puede producir si la presión sobre los núcleos es muy grande, obligándolos a estar muy próximos.

Ninguno de los proyectos de investigación actualmente en marcha predicen una ganancia de energía significativa, por lo que está previsto un proyecto posterior que pudiera dar lugar a los primeros reactores de fusión comerciales: DEMO para el confinamiento magnético (contenedor de material en estado de plasma* dentro de un campo magnético) e HIPER para el confinamiento inercial* (condiciones necesarias para dotar a las partículas del combustible de la cantidad de movimiento necesaria para que con el choque de las mismas venzan la barrera coulombiana).^{[19], [20], [21], [22], [35]}

Históricamente, las centrales nucleares fueron diseñadas para uso militar, consiguiendo la fabricación del plutonio necesario para fabricar bombas de explosión. Años más tarde se comprobó que el plutonio generado podía ser utilizado a su vez como combustible de fisión, aumentando enormemente la eficiencia de las centrales nucleares y reduciendo así uno de los problemas de las mismas.^[3]

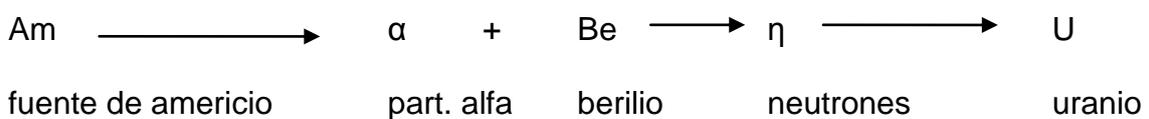
APLICACIÓN DE LA ENERGÍA NUCLEAR.

La fisión nuclear del uranio es la principal aplicación práctica civil de la energía nuclear, y se emplea en cientos de centrales nucleares en todo el mundo, en países como México, Francia, Japón, Estados Unidos, Alemania, Argentina, Brasil, Suecia, España, China, Rusia, Corea del Norte, Pakistán y/o India. La fisión nuclear contribuye a los esfuerzos para generar energía de limpia, segura, renovable y competitiva.

Los materiales fisionables que pueden usarse como combustible son: el plutonio²³⁹ (Pu^{239}), uranio²³⁵ (U^{235}) y torio²³² (Th^{232}), respectivamente. El combustible nuclear en plantas de energía y como arma más utilizado es el isótopo de U^{235} . El uranio es un mineral que se encuentra en la naturaleza bajo

150 formas diferentes. Es así como se puede presentar en forma primaria (ejemplo: uranita), como forma oxidada, o como forma refractaria. Puede utilizarse de dos maneras:

a) forma natural. Se llama uranio natural el cual no se fisiona espontáneamente al colocarse en los reactores en forma metálica de dióxido de uranio (UO₂), sino iniciando la reacción con un núcleo proveniente de una fuente, por ejemplo: de Am/Be (americio/berilio).



En forma de dióxido de uranio (UO₂) se fabrican pequeñas pastillas cilíndricas, normalmente poco más de un centímetro de diámetro y longitud, se introducen en varillas (tubos) herméticas de aleaciones especiales de zirconio (Zr). El uranio natural está formado por tres tipos de uranio: U²³⁸, U²³⁵ y U²³⁴, de cada gramo de uranio natural el 99.28 % de la masa es U²³⁸, el 0.71% U²³⁵ y 0.005% U²³⁴

b) forma enriquecido, al que artificialmente se eleva la concentración del U²³⁵ hasta un 3 ó 4% disminuyéndose la del U²³⁸ al 97%. El uranio enriquecido es más fisiónable que el natural, usado principalmente como combustible nuclear. ^[3]

El uranio natural o enriquecido es químicamente idéntico, tienen los mismos efectos químicos en el cuerpo. Se trata de un material muy tóxico que afecta el sistema óseo, renal y otros órganos del cuerpo humano. ^[3]

Las investigaciones nucleares se iniciaron entre 1905-1946 principalmente. En 1926 J. Robert Oppenheimer concluyó una serie de investigaciones que explicaban cómo la mecánica cuántica, que era algo nuevo

y se desarrollaba tan de prisa, resolvía un gran número de cuestiones muy complejas de la estructura atómica.

En 1932 Mark Oliphant descubrió una teoría sobre la fusión de núcleos ligeros a partir de un combustible inextinguible: hidrógeno (la bomba de hidrógeno, bomba térmica de fusión ó bomba termonuclear) obtenido del agua del mar. La energía se desprende al fusionarse los núcleos de deuterio*(H²) y de tritio*(H³), dos isótopos del hidrógeno, para dar un núcleo de helio*. El principio en el que se basa es juntar los suficientes núcleos de deuterio y tritio mediante presión ó calor hasta lograr un estado llamado plasma*. [3]. [12]. [14]

En 1938 el científico alemán Otto Hahn descubrió la fisión atómica. En 1939 Hahn daba una conferencia en la ciudad de Washington disertando sobre la reacción en cadena que desataba la fisión de un átomo pesado como el uranio. El hallazgo del físico Otto Hahn, corroborado en Suecia por la doctora Lise Meitner y su sobrino Otto Frisch, fue publicado en la revista científica: "Die Naturwissenschaften" y causó revuelo en todos los círculos científicos del mundo. Otto Hahn recibe en 1944 el premio nobel de química, por lo tanto, la fisión nuclear, corresponde al campo de estudio de la química y de la física. Después de estos grandes acontecimientos la comunidad científica internacional comenzó una inmensa carrera que tenía como meta el fabricar un reactor atómico para aprovechar la energía en la industria.

En 1942 Enrico Fermi logró construir un reactor atómico experimental, llamado Chicago Pile 1.

A comienzos de 1945 el proyecto Manhattan era el nombre en clave de un proyecto de investigación científica llevado a cabo durante la segunda guerra mundial por los Estados Unidos con ayuda parcial del Reino Unido y Canadá,

el objetivo final de este proyecto era el desarrollo de la primera bomba atómica; dado que tras los experimentos en Alemania previos a la guerra se sabía que la fisión del átomo era posible, se reunieron varias mentes brillantes aportando su grano de arena a la causa: conseguir la bomba antes que los alemanes. La investigación científica fue dirigida por el físico Julius Robert Oppenheimer, un profesor de física de la Universidad de California en Berkeley mientras que la seguridad y las operaciones militares corrían a cargo del general Leslie Richard Groves. El proyecto se llevó a cabo en numerosos centros de investigación, Laboratorio Nacional de los Álamos (LANL=Alamos National Laboratory), pertenece al departamento de energía de los Estados Unidos, administrado por la Universidad de California, que se encuentra en Los Álamos, Nuevo México. El laboratorio es una de las instituciones multidisciplinarias más grandes del mundo. Casi un tercio del personal técnico del laboratorio son físicos, un cuarto son ingenieros, un sexto son químicos y expertos en materiales, y el resto se dedica a las matemáticas, informática, biología, geología y otras disciplinas. El laboratorio se fundó durante la segunda guerra mundial como una instalación secreta y centralizada para llevar a cabo investigación clasificada sobre el diseño de armas nucleares. En la carrera por la fabricación de una bomba nuclear, los alemanes tenían el proyecto Uranio y los soviéticos la operación Borodino.

En verano de 1945 por la tarde se escuchaban explosiones en los valles alrededor del Laboratorio Nacional de los Álamos, estallidos que se perdían en la inmensidad del desierto, debido a que Seth Neddermeyer la cabeza del grupo de especialistas en explosivos, intentaba dar una solución a su

experimento, pero siempre fracasaba: el tubo por el cual pasaba la carga se doblaba, una clara señal de que la explosión no era igual en todas sus partes.

El Proyecto Uranio es el nombre clave del proyecto de energía nuclear desarrollado por el departamento de producción de armamento de la Wehrmacht durante la segunda guerra mundial con el propósito de investigar las posibilidades de emplear la reacción en cadena de una fisión nuclear en armas explosivas con un poder hasta entonces inimaginable para los militares. La bomba de uranio tenía el éxito prácticamente asegurado y la bomba de plutonio estaba cerca de ser terminada, aunque no cumpliría con la fecha de entrega estimada. En esos momentos, el general Groves no se preocupaba por el éxito del proyecto, su preocupación era que la guerra terminara antes que la bomba estuviera lista para ser lanzada. Es el análogo de la bomba alemana nazi y al proyecto Manhattan de los EEUU. ^[23]

En abril de 1945 comenzaron a seleccionarse 17 lugares para poder llevar a cabo pruebas de explosión de las bombas. Durante los meses de mayo, junio y julio, se hicieron las primeras pruebas reales y la lista de posibles blancos fue depurada. La etapa de desarrollo de un ensayo atómico exitoso ocurrido el 16 de julio de 1945 en el desierto de Alamogordo en México, donde se fabricó el artefacto llamado Trinity, una Bomba-A de plutonio del mismo tipo que Fat Man, Neddermeyer se dio cuenta de que para lograr una implosión más rápida no necesitaba un mecanismo de alta velocidad, sino una fuerza explosiva mayor.

BOMBAS ATÓMICAS

Las bombas de explosión: Hiroshima, ó Fatman, la segunda bomba atómica y más poderosa lanzada sobre Japón en Hiroshima y Nagasaki, fueron lanzadas por Estados Unidos el 6 y 9 de agosto de 1945, respectivamente.

Estas han sido las dos únicas bombas atómicas con uso militar no experimental de la historia mundial. En pocos segundos, ambas ciudades quedaron devastadas, la lluvia que siguió a la explosión atómica estaba cargada de partículas radiactivas y varios de los supervivientes a ambas explosiones, sucumbieron al envenenamiento causado por esa radiación. ^[3]



nube radioactiva en forma de hongo

provocada por la explosión de la bomba atómica sobre la ciudad de Nagasaki

La explosión de la bomba nuclear en Rusia en 1949 provocó que en 1950 el presidente estadounidense Harry S. Truman (33° presidente) anunciara el comienzo de un proyecto de una bomba de hidrógeno. El 1 de noviembre de 1952 se probó con nombre en clave Mike, parte de la operación Hiedra, con una potencia equivalente a 10.400.000.000 de kg de TNT.

En 1946 se había patentado el primer diseño de reactor termonuclear.^[25] A partir de 1952, fecha en la que arrancó el primer reactor comercial de fisión, se han construido nuevas centrales nucleares, acumulándose una experiencia equivalente a cientos de años de funcionamiento de un reactor. ^[26]

CONCEPTOS A TRATAR DE LA ENERGÍA NUCLEAR

“Jamás creas que la guerra bajo ningún motivo es justificada”.

Ernest Heingway

Escritor.

La energía nuclear se define como aquella que resulta del aprovechamiento de la capacidad que tienen algunos isótopos* de ciertos elementos químicos para experimentar reacciones nucleares* y emitir energía* en la transformación; siendo el más conocido de este tipo la energía de fisión del uranio (U^{235}), con la que funcionan los reactores nucleares. Sin embargo, para producir este tipo de energía aprovechando reacciones nucleares, pueden ser utilizados muchos otros isótopos de varios elementos químicos pesados, como el torio (Th), plutonio (Pu) o polonio (Po).^[1]

Una central nucleoelectrónica o central nuclear es una instalación industrial empleada para la generación de energía eléctrica a partir de energía nuclear, que se caracteriza por el empleo de materiales fisionables*. A diferencia con una central termoeléctrica convencional, estriba en la forma de obtener el calor para la producción de vapor, es decir, mientras que en una termoeléctrica el calor se obtiene quemando combustibles fósiles o extrayendo vapor natural del subsuelo, en una nucleoelectrónica el calor se obtiene a partir de la fisión nuclear en un reactor.⁽³⁾ Las instalaciones nucleares son construcciones muy complejas por la variedad de tecnología industrial empleada y por la elevada seguridad con la que se les dota ya que constan de uno ó varios reactores.^[27]

Un reactor nuclear es un enorme contenedor ó recipiente en cuyo interior se albergan varillas u otras configuraciones geométricas de minerales con algún elemento fisionable, usualmente U^{235} (en algunos combustibles también plutonio, generado a partir de la activación del uranio), dentro del cual se está efectuando una reacción de fisión en cadena controlada; está colocado en el centro de un gran recipiente de gruesas paredes de concreto, las cuales protegen al personal que lo opera y al público de la radiactividad* que produce.

[28.]

El reactor contiene elementos llamados "barras de control" que se encargan de mantener la intensidad de la reacción en cadena que ocurre en su interior, dentro de los límites deseados y de conformidad con la cantidad de energía térmica que se quiera producir. Si se desea disminuir la intensidad de la reacción nuclear que ocurre dentro del reactor, basta con insertar las barras de control entre los ensambles de combustible del núcleo, en la medida de la disminución deseada, en caso de querer aumentar la potencia del reactor sólo hay que extraer las barras de control, hasta lograr la potencia deseada. En los reactores nucleares de potencia, el calor obtenido es utilizado para calentar agua en el interior del reactor, produciéndose así el vapor que es utilizado para hacer girar una turbina, que no es más que un conjunto de discos provistos de "paletas". Este movimiento será transmitido al generador, el cual producirá la electricidad (la energía eléctrica producida por la fisión de 1 kg de U^{235} , es de aproximadamente 18.7 millones de kilowatts-hora).

La bomba atómica es un dispositivo que obtiene una enorme energía de las reacciones nucleares. Se encuentra entre las denominadas armas de

destrucción masiva y su explosión produce una característica nube en forma de hongo. La bomba atómica fue creada originalmente por Estados Unidos.^[29]

El funcionamiento de las bombas nucleares se basa en la escisión (división) de un núcleo pesado en elementos más ligeros mediante el bombardeo de neutrones que, al impactar en dicho material, provocan una reacción nuclear en cadena no controlada. Para que esto suceda hace falta usar núcleos fisionables como el U^{235} (elemento natural más pesado) o Pu^{239} (elemento que experimenta desintegraciones espontáneas y tiene un período limitado de vida) por lo cual se dice que la fisión es prácticamente la desintegración de materia radiactiva.^{[3], [13]} Albert Einstein en 1939 firmó una carta al Presidente Franklin Delano Roosevelt de los EEUU.^[32], escrita por Leo Szilárd en la que se prevenía la utilización de la fisión nuclear como poderosa arma de guerra.^[32]

Una reacción nuclear consiste en la modificación de la composición del núcleo atómico de un elemento, que muta y pasa a ser otro elemento como consecuencia del proceso.^[3]

CENTRAL NUCLEOELÉCTRICA EN VERACRUZ.

La única central nucleoelectrónica de nuestro país, se encuentra ubicada sobre la costa del Golfo de México en el km. 42.5 de la carretera federal Cardel-Nautla, en la localidad denominada Punta Limón municipio de Alto Lucero, estado de Veracruz, cuenta con un área de 370 ha. geográficamente situada a 60 km. al noreste de la ciudad de Xalapa, 70 km. al noroeste del puerto de Veracruz y a 290 km. al noreste de la ciudad de México. La central nucleoelectrónica Laguna Verde cumple con las más estrictas normas internacionales de seguridad y su operación es certificada y supervisada

directamente por los organismos reguladores nacionales e internacionales, para la aplicación de la energía nuclear. ^[3]



central nucleoelectrica en México

Expertos vaticinan que, ante el brutal crecimiento de la demanda energética que se espera en los próximos años, la energía nuclear es la única opción para sostener el crecimiento económico del planeta. Con el precio del crudo por las nubes ^[30] y el protocolo de Kyoto que obliga a los países a pagar una tasa, es decir, cuantiosas multas por cada tonelada de CO₂ emitido para controlar sus emisiones de gases, se replantea si seguir adelante con las centrales nucleares o cerrarlas de por vida. Y mientras los países lo piensan, la crisis desatada en Irán ha puesto en serio peligro uno de los mayores mercados mundiales de crudo, especialmente para Europa, y son muchos los países que buscan fuentes de energía que no les hagan depender tanto de países altamente inestables, como lo son los productores de petróleo situados en el Golfo Pérsico. ^[3]

Para poder atender toda la demanda que se prevé en los próximos años los expertos "calculan que habría que construir 4.500 plantas en todo el mundo", algo considerado inviable por problemas de seguridad. ^[31]

Energía de fisión

“Oppenheimer tuvo una muy completa formación en aquellos campos que caen fuera de la tradición científica, como su interés en la religión, particularmente en la religión Hindú, que se transformó en una especie de sentimiento de misterio que lo rodeaba. Veía la física con claridad, mirando lo que ya se había logrado, pero en el límite tendía a sentir que había mucho más de misterio de lo que realmente había... se alejó de los métodos fuertes y crudos de la física teórica en dirección hacia un sentimiento místico de amplia intuición.”

Isidor Isaac Rabi (1898-1988).

- Físico estadounidense de origen austríaco, recibió el premio Nobel de física en 1944 por el descubrimiento del método de resonancia gracias al que es posible verificar el registro de las propiedades magnéticas de los átomos.

Se entiende por fisión a la ruptura del núcleo de un elemento pesado en dos fragmentos: rara vez con la emisión de rayos gamma con la simultánea emisión de dos o tres neutrones^[4], dando así la formación de dos nuevos núcleos de masa inferior a la del núcleo original y es un proceso exotérmico, es decir, produce un gran desprendimiento de energía calorífica y cinética de los productos de fisión.^{[3], [17]} En la fisión los neutrones liberados se aprovechan para fisionar a otros núcleos continuando así el proceso en forma encadenada, es por eso que a este tipo de reacción se le denomina "reacción en cadena", Una reacción nuclear en cadena es una sucesión de fisiones nucleares que ocurren en forma casi simultánea, en la fisión nuclear se liberan 2 neutrones, estos pueden fisionar 2 nuevos núcleos atómicos, de donde se liberan 4 nuevos neutrones, los que a su vez harán impacto sobre 4 núcleos atómicos, y así sucesivamente.

La fisión ha sido producida en algunos núclidos pesados (notablemente U^{235} , U^{238} y Th^{232}) por irradiación con neutrones, protones, deuterones, partículas alfa y rayos gamma de alta energía. Más recientemente se ha encontrado que elementos tales como tantalio, platino, talio, plomo y bismuto, sufren fisión cuando son irradiados con deuterones de 200 MeV y partículas alfa de 400 MeV . Por mucho la inducción de la fisión más importante y común resulta de los neutrones. El U^{235} y el Pu^{239} pueden ser fisionados por neutrones térmicos o rápidos, mientras que la fisión del Th^{232} , Pa^{231} y U^{238} presentan mayor probabilidad de ocurrencia con neutrones rápidos. ^[4]

La fisión nuclear tiene como principal ventaja que no utiliza combustibles fósiles (es decir, que provienen del fósil de un organismo vivo. Ej.: petróleo, gasolina, carbón -sobre todo el de madera, etc.). ^[3]

El tema de la seguridad, tanto interna como externa, es otro de los factores que no sólo apuntan las organizaciones ecologistas, sino también diversos gobiernos. En cuanto a la interna, el accidente de Chernóbil en Rusia (1986) o Three Mile Island, en Estados Unidos, accidentes directamente relacionados con fallas humanas del personal que manejaba las plantas.^[33] Sobre la seguridad externa, todos los expertos coinciden en señalar que el terrorismo es, hoy en día, uno de los principales problemas sobre la energía nuclear, y las plantas de todo el mundo han tenido que incrementar sus medidas de seguridad considerablemente después del atentado del 11 de septiembre del 2003. ^{[3], [32]}

INDUCCION DE LA FISIÓN.

Una reacción en cadena se da espontáneamente entre algunos elementos y en ocasiones puede provocarse mediante técnicas como el

bombardamiento neutrónico u otras. Inducir la fisión es más fácil en los elementos más pesados: en cualquier elemento más pesado que el hierro produce energía, por el contrario, si es más liviano que el hierro requiere energía. Para ser inducida por bombardamiento neutrónico es necesario lanzarle neutrones de alta ó baja energía según el núcleo que se fisione. Los elementos que se producen son resultado del azar, pero estadísticamente el resultado más probable es encontrar núcleos con aproximadamente la mitad de protones y neutrones del átomo fisionado originalmente.

Radioisótopo	Vida media	Nombre histórico	Tipo-decaimiento
U ²³⁵	7.1 X 10 ⁸ años	actinouranio	α , γ
↓			
Th ²³¹	25.2 h	uranio γ	β ⁻ , γ
↓			
Pa ²³¹	3.25 X 10 ⁴ años	protoactinio	α,β ⁻ ,γ
↓			
Ac ²²⁷	21.6 años	actinio	α , γ
↓			
Th ²²⁷ (98-6%) ↓	18.2 días	radioactinio	α , γ
Fr ²²³ (1.4%) ↓	22 minutos	actinio K	β ⁻ , γ
Ra ²²³ ↓	11.43 días	actinio K	α , γ
Rn ²¹⁹ ↓	4 segundos	actinon (emanación)	α , γ
Po ²¹⁵ ↓	1.8 milisegundos	actinio A	α , β ⁻
Pb ²¹¹ (100%) ↓	36.1 minutos	actinio B	β ⁻ , γ
At ²¹⁵ (0.00023%) ↓	0.1 milisegundo	astatino	α
Bi ²¹¹ ↓	2.15 minutos	actinio C	α,β ⁻ ,γ
Po ²¹¹ (0.28%) ↓	0.52 segundos	actinio C´	α , γ
Tl ²⁰⁷ (99.7%) ↓	4.79 segundos	actinio C´´	β ⁻ , γ
Pb ²⁰⁷	estable	actinio D	-----

cadena radioactiva del U235 (4n+3) (15 miembros o eslabones). [4]

Para inducir la fisión por bombardeo del núcleo de un átomo fisionable con otra partícula de la energía correcta, la otra partícula es generalmente un neutrón libre, este neutrón penetra en el núcleo haciéndole inestable, entonces se partirá en dos pedazos: los productos de la fisión incluyen dos núcleos más pequeños, hasta siete neutrones libres (con una media de dos y medio por reacción), y algunos fotones. [3], [13]

La repartición de la masa de un núcleo dividido en dos partes, con la simultánea emisión de neutrones y rara vez de partículas α , puede ocurrir de muy diversas maneras y son conocidos un gran número de productos de fisión. Así por ejemplo, en el caso de la fisión del U^{235} con neutrones lentos, se encuentran productos que van desde un número de masa $A=72$ hasta $A=158$, y desde un número atómico $Z=30$ correspondiente al zinc hasta $Z=63$, del europeo.

Debido a que el número de neutrones requerido para la estabilidad es mucho más grande en la región de los elementos pesados que en la región de los productos de fisión, cuando éstos son producidos presentan un exceso de neutrones en relación a los isótopos estables de los mismos elementos, razón por la cual tienden a la estabilidad por medio de sucesivos decaimientos β^- , que también corresponden a diversos estados de excitación y la consecuente emisión de rayos γ . Si trazamos una gráfica de los números de masa obtenidos en los productos de una fisión característica contra el porcentaje de obtención de los mismos (número de núcleos de masa A entre número de núcleos fisionados por 100), porcentaje que se conoce como rendimiento de cadenas de productos de fisión, obtendremos una gráfica específica según el material fisionable y la naturaleza y energía de las partículas que causan la fisión.

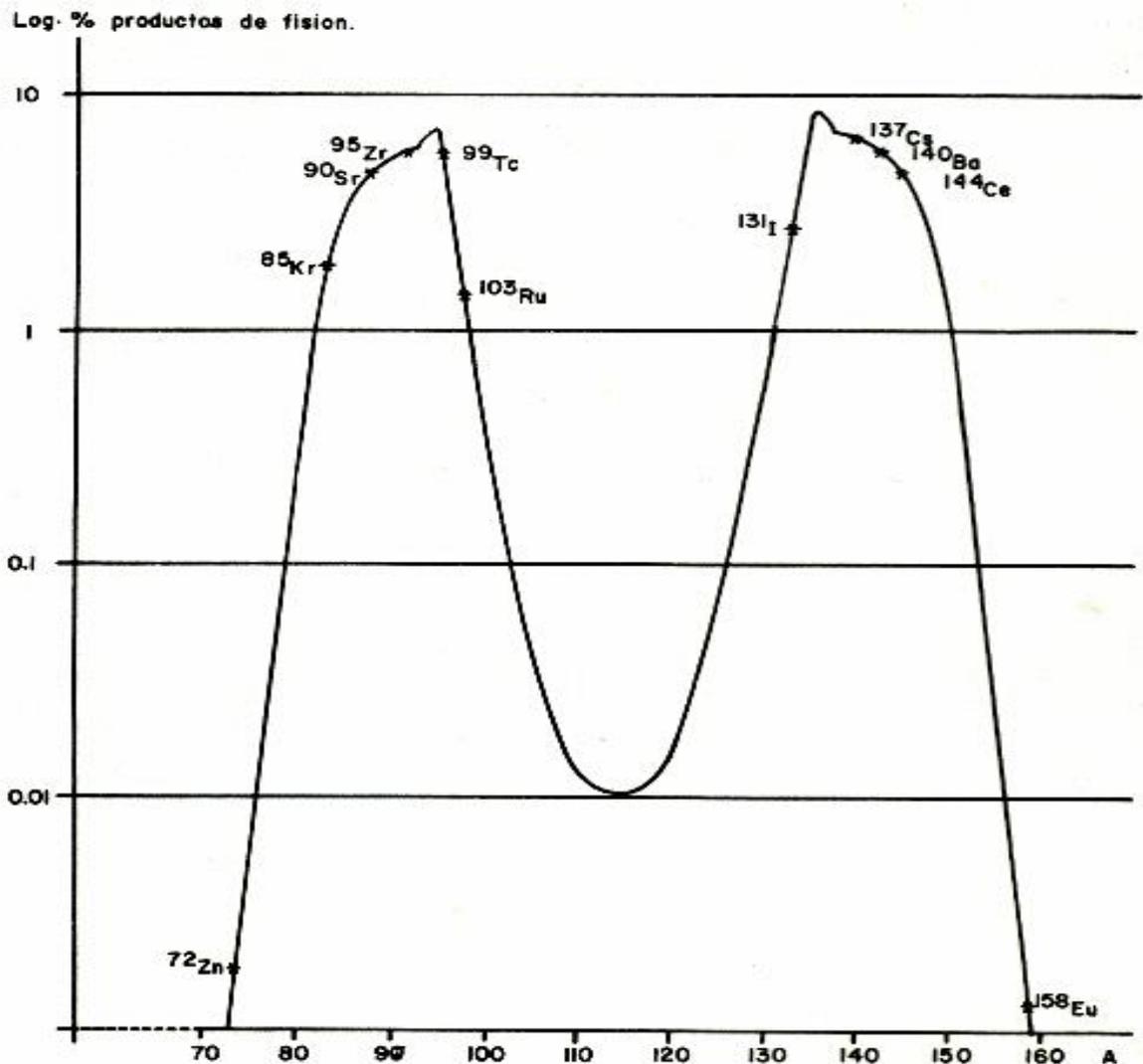


Fig. 5-3.— Rendimiento de productos de fisión del ^{235}U con neutrones lentos.

Estas gráficas se trazan en la forma dicha y no en función de cada elemento obtenido, porque en la práctica no resulta posible determinar el número atómico de los fragmentos, debido a que los decaimientos β^- en las cadenas se realizan con una vida media extremadamente corta, pero en cambio, sí resulta posible determinar el número de masa que permanece, a través de sucesivos decaimientos β^- en las cadenas de isótopos radiactivos originados por la fisión de núcleos pesados. [4]

Los elementos más frecuentemente usados para producir la fisión nuclear son el U^{235} y el Pu^{239} , estos tienen la mejor combinación de abundancia y facilidad de la fisión. Otros elementos pueden ser utilizados:

BOMBA DE URANIO. En este caso, a una masa de uranio llamada subcrítica se le añade una cantidad del mismo elemento químico para conseguir una masa crítica, es decir, capaz de producir la reacción en cadena. Provocan la destrucción de un área determinada por la onda de choque (presión fuerte que a través de explosiones produce diferencias de presión extremas) desencadenada por la reacción de fisión y la liberación de neutrones.

BOMBA DE PLUTONIO. Para su construcción se rodea la masa fisionable de explosivos convencionales especialmente diseñados para comprimir el Pu, de forma que una esfera de Pu del tamaño de una pelota de tenis se reduce casi instantáneamente hasta un volumen de 2 a 5 veces menor, aumentando en la misma proporción la densidad del material. En general, sin embargo, se utilizan esferas huecas de diámetro algo mayor. La masa de material fisionable comprimida, que inicialmente no era crítica, sí lo es en las nuevas condiciones de densidad y geometría, iniciándose una reacción en cadena de fisión nuclear no controlable ante la presencia de neutrones, que acaba provocando una violenta explosión y la destrucción total dentro de un perímetro limitado.

En los últimos tiempos algunos grupos ecologistas abogan por un uso controlado de la fisión nuclear, mientras se desarrollan otras formas de energía más seguras y limpias, como las renovables y la fusión, para poder así desechar en gran parte la quema de combustibles fósiles. Sin embargo, las instalaciones nucleares poseen niveles de seguridad más elevados que la mayoría del resto de las Instalaciones industriales. [3], [23]

La vida media de las centrales nucleares que están en funcionamiento en el mundo se ha elevado regularmente y actualmente se sitúa en 21,8 años. En los últimos 12 años se han cerrado 32 reactores y se han conectado 52 a la red eléctrica, lo que equivale a un incremento neto de un reactor y medio al año. ^[34]

CAPÍTULO 3

TRATAMIENTO DE RESIDUOS

PELIGROSOS

En el proceso de fisión nuclear, se establece una reacción que es sostenida y moderada mediante el empleo de elementos radiactivos dependientes del tipo de tecnología empleada, las diferentes características de una reacción nuclear hacen que pueda resultar peligrosa si se pierde su control y prolifera por encima de una determinada temperatura a la que funden los materiales empleados en el reactor, así como si se producen escapes de radiación nociva; por esa u otra causa la energía nuclear se caracteriza por producir, además de una gran cantidad de energía eléctrica, residuos nucleares que hay que albergar en depósitos aislados y controlados durante largo tiempo.

Si bien es cierto que la fisión nuclear no emite a la atmósfera gases tóxicos o de efecto invernadero (porque no utiliza combustible fósil), también es verdad que las emisiones contaminantes indirectas derivadas de la construcción de una central nuclear, de la fabricación del combustible y de la gestión posterior de los residuos radiactivos no son despreciables.^{[3], [1]}

Todos los países tienen que afrontar el principal problema de la energía nuclear: los residuos y su almacenamiento. El combustible gastado en las centrales nucleares tiene una elevada radiactividad, y un periodo de enfriamiento que se calcula entre 20.000 y 100.000 años.^[18] Los productos de la fisión son altamente radiactivos, no son isótopos estables entonces decaen, mediante cadenas de desintegración.^[36]

La actividad (o radiactividad) es el fenómeno por el cual los núcleos atómicos emiten partículas subnucleares con masa y carga, o radiación

electromagnética característica, sin masa ni carga, teniendo lugar un intercambio de energía al mismo tiempo.

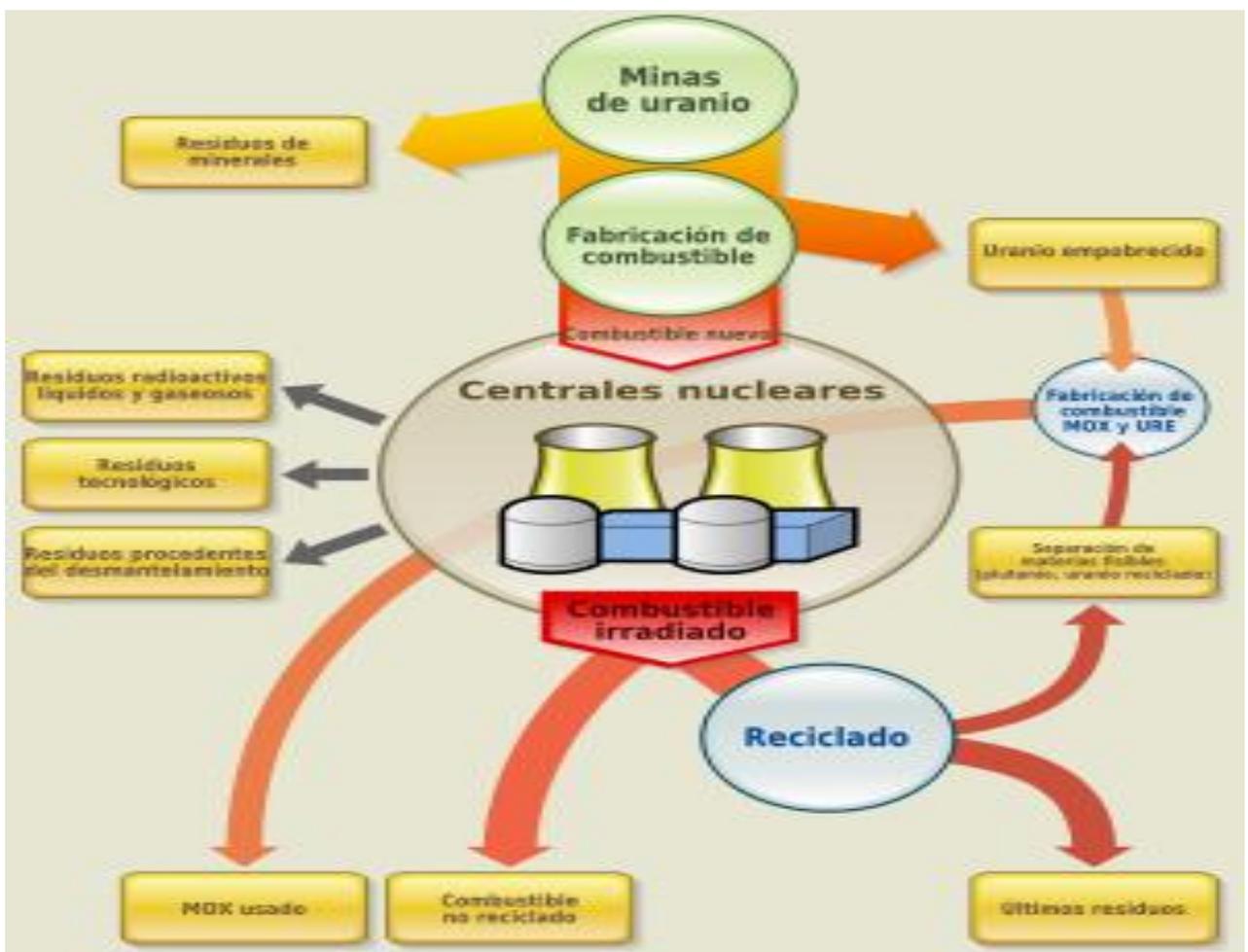
La unidad de radiactividad es el curie o curio, que se define como cualquier cantidad de material radiactivo que sufre 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo (dps) ó 2.22×10^{12} desintegraciones por minuto (dpm), las cuales equivalen aproximadamente a la velocidad de decaimiento de 1g de radio. Se abrevia por las iniciales Ci y sus fracciones más usadas son el mCi (milicurio) (1×10^{-3} Ci) y el μ Ci (microcurio) (1×10^{-6} Ci). Existe otra unidad, mucho menos usada, el Rutherford, que se abrevia rd y se define como la cantidad de cualquier material radioactivo que rinde 10^6 desintegraciones por segundo. O sea que $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^4 \text{ rd}$ y $1 \text{ rd} = 2.7 \times 10^{-5} \text{ Ci}$. En los últimos años, ha sido creada otra unidad para medir la radiactividad, el Becquerel, que se abrevia Bq y se define como la cantidad de cualquier material radioactivo que sufre una desintegración por segundo. En consecuencia, $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ y $1 \text{ Bq} = 2.7 \times 10^{-11} \text{ Ci}$.

Entre los residuos altamente contaminantes a largo plazo, los más cuidados son las barras de combustible*(contienen al elemento fisionable. Ej.: uranio), y los transuránidos* (elementos que tienen un número atómico superior al del U^{235}) [3], en los que se generan isótopos que pueden permanecer radiactivos a lo largo de miles de años. También se generan residuos de alta actividad que deben ser vigilados, pero que tienen vidas medias cortas, es decir, duran pocos años y pueden ser controlados.

CICLO DEL COMBUSTIBLE NUCLEAR

Muy rara vez un núcleo fisionable, experimentará la fisión nuclear espontánea sin un neutrón entrante.

Los ingenieros nucleares dedujeron que el plutonio producido por los reactores comerciales de uranio se iba a poder separar en plantas de reprocesamiento, creando en efecto un movimiento perpetuo desde el uranio no-fisionable U^{238} al Pu^{239} para plantas de generación reproductoras. La idea era crear un gran ciclo industrial con más de mil reactores de cría y docenas de plantas de reprocesamiento a gran escala tales como las que hoy encontramos solamente en La Haya (Holanda) y Sellafield (Gran Bretaña). Sin embargo, no fue tan fácil ya que su tecnología es exorbitantemente cara, aún no está desarrollada totalmente y es más insegura que la de los reactores comunes. Por ello es que hoy en el mundo sólo Rusia y Holanda operan cada una un reactor de este tipo y en etapa de desarrollo. [34]



producción y gestión de residuos en una central nuclear

Existen sin embargo estrategias para tratar algunos de los residuos de forma más eficiente:

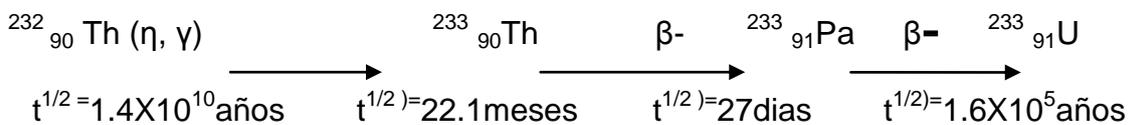
A) Los combustibles de fisión cualquiera que sea su tratamiento pasa por el almacenamiento superficial de los residuos, es decir, si se trata de radioisótopos con vida media corta, su decaimiento total puede producirse en un tiempo practicable, y por tanto en este caso desaparece el problema de su destino final. ^[4]

B) Después se colocan en cuevas profundas llamadas almacenamientos geológicos profundos (AGP) donde el objetivo final es que sea el lugar donde queden enterrados ò almacenados con seguridad durante un periodo de miles de años los residuos radiactivos de vida media larga

C) Los desechos radiactivos de vida media larga que tengan por destino ser registrados, manejados y almacenados en depósitos especiales llamados cementerios de material radiactivo, a cargo de alguna autoridad oficial, deben estar en forma sólida más bien que líquida, a fin de que ocupen el menor volumen posible, para lo que son comúnmente usados acarreadores isotónicos y depuradores. De esta forma la actividad específica decrece, y los desechos pueden ser incorporados a materiales de alta densidad, no solubles en agua, como concreto o sustancias vítreas, que brinden el máximo de seguridad ante cualquier emergencia. ^[4]

D) Se basa en el uso de centrales nucleares de nueva generación con sistemas asistidos por aceleradores (ADS) usando Th^{232} como combustible. Esta técnica es llamada transmutación, y el primer proyecto será construido alrededor de 2014 (Myrrha). Degradan los desechos nucleares en un nuevo

ciclo de fisión asistida y pasan como una alternativa viable para las necesidades energéticas del ser humano ante la dependencia del petróleo. ^[41]



En este caso el $t^{1/2}$ es de suma importancia ya que con el decaimiento del Th a U el tiempo de vida de cada elemento va disminuyendo, lo que hace ideal su uso para la obtención de energía nuclear.

E) Métodos de aprovechamiento de algunos de los residuos peligrosos mediante el reciclado, separando los Isótopos que pueden aprovecharse en aplicaciones médicas o industriales como el caso de cesio (Cs^{137}).

Los residuos radiactivos se suelen clasificar por motivos de gestión en:

- Residuos exentos: no poseen una radiactividad que pueda resultar peligrosa para la salud de las personas ó el medio ambiente, en el presente o para las generaciones futuras. Pueden utilizarse como materiales convencionales.
- Residuos de actividad baja: poseen radiactividad gamma o beta en niveles menores a 0,04 GBq/m³ si son líquidos, 0,00004 GBq/m³ si son gaseosos, o la razón de dosis o intensidad de radiación en contacto es inferior a 20 mSv/h si son sólidos. Solo se consideran de esta categoría si además su periodo de vida media es inferior a 30 años, deben estar en almacenamientos superficiales.
- Residuos de actividad media: poseen radiactividad gamma o beta con niveles superiores a los residuos de actividad baja pero inferiores a 4 GBq/m³ para líquidos, gaseosos con cualquier actividad o sólidos cuya razón de dosis o intensidad de radiación en contacto supere los 20 mSv/h.

Al igual que los residuos de baja actividad, solo pueden considerarse dentro de esta categoría aquellos residuos cuya vida media sea inferior a 30 años, deben estar en almacenamientos superficiales.

- Residuos de actividad alta o vida media larga: todos aquellos materiales emisores de radiactividad alfa y aquellos materiales emisores beta o gamma que superen los niveles impuestos por los límites de los residuos de actividad media. También todos aquellos cuya vida media supere los 30 años (ejemplo: actínidos), deben estar en AGP.^{[3],[18]}

CAPÍTULO 4

USOS PACÍFICOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

✓ La fisión nuclear es una alternativa para generar "energía eléctrica segura, renovable y competitivamente limpia", ya que no se produce emanación al medio ambiente de gases de combustión causantes de la lluvia ácida (las emisiones de dióxido de carbono son el principal causante del efecto invernadero). Esto es importante en el momento actual debido al protocolo acordado en la cumbre mundial de Kyoto sobre el clima, la energía nuclear ha sido incluida entre las políticas y medidas propuestas para combatir el cambio climático (artículo 2 del protocolo de Kyoto) estrategia seguida para evitar el calentamiento global.^[36]

✓ Si se aplican grandes dosis de radiación a áreas limitadas como es el caso de la radioterapia* que utiliza altas dosis de radiación ionizante para eliminar tejidos malignos en el cuerpo, es un hecho que los efectos no son siempre dañinos en un organismo vivo, esto es debido a la energía absorbida por las células y los tejidos que la forman.^[37]

✓ Actualmente, gracias al uso de reactores nucleares desde finales de los años 40, se produce una expansión en el empleo pacífico de algunos isótopos radiactivos en diversas áreas científicas y para total beneficio del hombre como es el caso del control de plagas además de la obtención de energía eléctrica.

✓ En más de 400 unidades nucleoelectricas que actualmente operan en el mundo, el riesgo es inferior al de cualquier planta industrial que utilice calor para trabajar, ya que desde el diseño, construcción y durante la operación de una nucleoelectrica, lo más importante es garantizar altamente la seguridad del personal, así como la seguridad física de las instalaciones.

- ✓ Los reactores de fisión pueden tener la susceptibilidad de ser objetivos de los terroristas, igual que lo pueden ser otras instalaciones que fabrican productos tóxicos, en cuanto a la seguridad en la operación de la central. ^{[3],[18]}
- ✓ Como cualquier industria humana, la aplicación nuclear genera residuos, sin embargo, los genera en volúmenes muy pequeños comparados con otras aplicaciones, como la industria petroquímica, y de forma muy controlada.
- ✓ Hasta el momento, la fusión nuclear controlada es utilizada solo en la investigación de futuros reactores de fusión intentando lograr que sirvan para generar energía de forma útil, algo que se espera lograr con la construcción del ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor), en Francia.
- ✓ Los reactores de investigación permiten capacitar personal en técnicas nucleares, investigar propiedades de la materia, irradiar materiales para producir radioisótopos de aplicación en medicina nuclear, realizar radiografías por neutrones, realizar análisis de trazas por activación neutrónica e irradiar silicio (Si) para producir material base para semiconductores (técnica conocida como silicon NTD), entre otras aplicaciones. ^{[38], [39]}

CAPÍTULO 5

USOS PROSCRITOS DE LA ENERGÍA NUCLEAR

* **BOMBAS SUCIAS (Dirty Bombs).** Consisten en la expansión mediante un explosivo convencional de material radiactivo sobre un área de terreno con el fin de provocar daños a la salud de las personas e impedir la habitabilidad de un territorio. Son económicamente más accesibles que las verdaderas armas nucleares por su diseño mucho más sencillo, Lo único que tienen en común las bombas sucias y las nucleares es el uso de elementos radiactivos en su dispositivo. Su forma más concreta vienen siendo los proyectiles con punta de uranio empobrecido, usado habitualmente por el ejército norteamericano y británico fuera de sus fronteras, generalmente como forma de deshacerse del material de desecho de sus centrales nucleares, al tiempo que mejora la eficacia de esos proyectiles, como ataque intencionado contra la población de las zonas bombardeadas. Los daños a la salud de la población y al ecosistema de las zonas afectadas son considerados daños colaterales (daño no intencional o accidental)

* **LAS BOMBAS NUCLEARES (bomba atómica) y termonucleares,** se emplearon por primera vez en Hiroshima y Nagasaki. Después de la segunda guerra mundial se desarrolló una segunda generación de bombas termonucleares, que se fundamentan en reacciones de fusión de hidrógeno pesado activadas por una reacción de fisión previa. En las bombas de hidrógeno normalmente el 50% de la energía liberada se obtiene por fisión nuclear y el otro 50% por fusión.

* BOMBAS DE NEUTRONES. A partir de 1974 se construyó la llamada Bomba de Neutrones (Bomba N), bomba de radiación directa incrementada o bomba de radiación forzada; esta es un arma nuclear derivada de la bomba de hidrógeno (bomba H) con menor capacidad explosiva aunque con radiación intensiva de neutrones, se consigue hacer bajar el porcentaje de energía obtenida por fisión a menos del 50%, e incluso se ha llegado a hacerlo de cerca del 5%.^[3] En consecuencia se obtiene una bomba que para una determinada magnitud de onda expansiva y pulso térmico produce una proporción de radiaciones ionizantes hasta 7 veces mayor que las de una bomba H, fundamentalmente rayos X y gamma de alta penetración, buena parte de esta radiactividad es de mucha menor duración (menos de 48 horas) de la que se puede esperar de una bomba de fisión. Las consecuencias prácticas son que al detonar una bomba N se produce una limitada destrucción de estructuras y edificios en el radio de acción de la bomba, pero mucha afectación y muerte de los seres vivos (tanto personas como animales), incluso aunque estos se encuentren dentro de vehículos ó instalaciones blindadas/acorazadas. Por esto se ha incluido a estas bombas en la categoría de armas tácticas, pues permite la continuación de operaciones militares en el área por parte de unidades dotadas de protección, pretendiendo disponer de un arma capaz de matar ó inhabilitar a las tropas enemigas. ^{[11], [22]}

CAPÍTULO 6

AFECTACIONES A LA SALUD RELACIONADOS CON LA ENERGÍA NUCLEAR

Solo hay dos cosas infinitas en el mundo: el universo y la estupidez humana "

Albert Eistein. (1879-1955).

Científico alemán más conocido e importante del siglo XX. En 1905 dedujo la ecuación de la relatividad $E=mc^2$. Ese mismo año publicó otros trabajos que sentarían algunas de las bases de la física estadística y la mecánica cuántica. En 1915 presentó la teoría especial de la relatividad, con el surgimiento de la rama de la física denominada cosmología. Obtuvo el premio nobel de física en 1921 por su explicación del efecto fotoeléctrico y sus numerosas contribuciones a la física teórica.

Al construir una central nuclear, se extreman los cuidados para confinar los efectos sobre el medio ambiente y la salud de las personas en un área de la cual no puedan escapar los materiales fisionables utilizados para la producción de energía mediante reactores nucleares, los mismos que los que se utilizan para la producción de armas.

Las explosiones nucleares producen muy diversos tipos de efectos, todos ellos tremendamente destructivos en todos los aspectos, estos se dividen en dos categorías:

- 1.- Efectos inmediatos o primarios: entre los que se encuentran la onda expansiva, el pulso de calor, la radiación ionizante y el pulso electromagnético (EMP).
- 2.- Efectos retardados o secundarios: están los efectos sobre el clima y el medio ambiente, así como el daño generalizado a infraestructuras básicas para el sustento humano. A pesar de la espectacularidad de los efectos inmediatos, son los daños secundarios los que ocasionan el mayor número de muertes tras un ataque nuclear.

Dentro de los daños causados por explosiones nucleares actúan los efectos sinérgicos, es decir, que un daño potencia al otro; la radiación disminuye las defensas del organismo y, a su vez agudiza la posibilidad de infección de las heridas causadas por la explosión aumentando así la mortalidad. Es precisamente esa multitud de efectos y sinergias lo que hace de las armas nucleares que sean las más destructivas que existen. ^[18]

El ciclo nuclear comienza con el uso del uranio, este material radiactivo posee la particularidad de liberar energía en forma de radiación ionizante. Los efectos dañinos de la radiación ionizante (radiación de exposición o carga generada por la ionización de las exposiciones) en un organismo vivo se deben principalmente a la energía absorbida por las células y los tejidos que la forman.

La unidad de dosis de exposición es el roentgen, que se define como la intensidad de radiación X o gamma capaz de producir 1 unidad de cantidad de electricidad de cualquier signo en 0.001293 g de aire, o sea 1 cm³ de aire a condiciones normales de temperatura y presión, lo cual es equivalente a la absorción de 87.7 ergios por gramo de aire. Por definición la unidad roentgen se limita a radiación electromagnética (rayos X o gamma) y sirve para medir la intensidad de radiación en un espacio dado, pero no la dosis absorbida por algún material cualquiera o un individuo ocupando ese espacio.

La energía es absorbida por ionización y excitación atómica que produce una descomposición química en las moléculas presentes, esta dosis se le denomina dosis de radiación absorbida en el hombre y se mide en sievert (Sv), cuya unidad es 1 J/kg = 1 Sv = 1 Gray(Gy) = 100 rads.

Si la radiación es menor de 100 mSv no se espera ninguna respuesta clínica, al aumentar la dosis el organismo va presentando diferentes manifestaciones incluso la muerte.

La dosis letal media DL_M (aquella a la cual cincuenta por ciento de los individuos irradiados mueren) es de 4 Sv (4000 mSv).

La radiactividad o intensidad de radiación tiene como unidad curie/curio (Ci) o becquerel (Bq), en general. La dosis absorbida tiene como unidad el rad, que se define como dosis de radiación que resulta en la absorción de 100 ergios por gramo de material o el gray, que se abrevia Gy y se define como la cantidad de radiación absorbida que disipa 1 julio de energía por kilogramo de material. Su equivalencia con el rad es la siguiente: $1 \text{ Gy} = 100 \text{ rad}$, de donde $1 \text{ rad} = 0.01 \text{ Gy}$.

Se llama EBR (efectividad biológica relativa) a la razón ó cociente de la dosis absorbida en rad de radiación gamma, a la radiación absorbida de cualquier otro tipo de radiación que se requiere para producir el mismo efecto biológico. La necesidad de esta unidad se origina por el hecho de que los varios tipos de radiación causan diferentes daños a iguales dosis adsorbidas.^[4]

Cuando la radiación ionizante incide sobre un organismo vivo, las reacciones a nivel celular son principalmente en las membranas, el citoplasma y el núcleo:

° MEMBRANAS: produce alteraciones de permeabilidad, lo que hace que puedan intercambiar fluidos en cantidades mayores de lo normal. La célula no muere pero sus funciones de multiplicación se ven alteradas ya que no se llevan a cabo.

° CITOPLASMA; la principal sustancia es el agua, al estar ionizada se forman radicales inestables, algunos de estos radicales tenderán a unirse para formar moléculas de agua (H_2O) y moléculas de hidrógeno (H_2), las cuales no son nocivas para el citoplasma, sin embargo, otras se combinan para formar peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el cual produce alteraciones en el funcionamiento de las células. La situación más crítica se presenta cuando se forma el hidronio (HO), el cual produce envenenamiento en las células.

° NÚCLEO: produce alteraciones de los genes e incluso rompimiento de los cromosomas, provocando que cuando la célula se divida lo haga con características diferentes a la célula original. Las células pueden sufrir aumento o disminución de volumen, un estado latente, mutaciones genéticas, cáncer y hasta la muerte. El daño a las células germinales resultará en alteraciones a la descendencia del individuo.

Se pueden clasificar los efectos biológicos causados en: somáticos y hereditarios. El daño a los genes de una célula somática puede producir daño a la célula hija. Un daño genético es un efecto de mutación en el cromosoma o un gen, solamente cuando el daño afecte a una línea germinal.

El conjunto de síntomas que presentan las personas irradiadas de manera intensa en todo el cuerpo se denomina síndrome de la irradiación aguda y consiste en náuseas, vómito, anorexia, pérdida de peso, fiebre y hemorragia intestinal.

RADIOACTIVIDAD EN PARTES LOCALES

De este modo una dosis inferior a 5 mSv/año se considera inocua. Los organismos encargados de proteger a las personas de las radiaciones ionizantes han fijado un límite de dosis considerada como permisible de 20

mSv al año para las personas que no trabajan en la industria que genera radiaciones, sin embargo, los trabajadores profesionales expuestos en un solo año pueden recibir hasta 1 a 50 mSv/año.

efectos generales de las radiaciones sobre el ser humano	
Cantidad	Efecto
0mSv-250mSv	Ninguna lesión detectable.
.5Sv (500mSv)	Posibles alteraciones de la sangre, pero ninguna lesión/efecto grave detectable.
1Sv	Náuseas y fatiga con posibles vómitos. Ninguna incapacitación.
2Sv	Náuseas y vómitos (primeras veinticuatro horas). Caída del cabello, pérdida del apetito, debilidad general y otros síntomas como irritación de garganta y diarrea (periodo latente de una semana) Posible fallecimiento (dos a seis semanas de una pequeña fracción de los individuos irradiados). Restablecimiento probable de no existir complicaciones a causa de poca salud anterior o infecciones.
4Sv	Náuseas y vómitos (primeras dos horas). Caída del cabello, pérdida del apetito, debilidad general con fiebre y otros síntomas como irritación de garganta y diarrea (periodo latente de una semana) Inflamación grave de boca y garganta (tercera semana). Síntomas tales como palidez, diarrea y rápida atenuación (cuarta semana). Algunas defunciones (dos a seis semanas) Mortalidad probable del cincuenta por ciento.
6Sv	Náuseas y vómitos (primeras dos horas). Diarrea, vómitos, inflamación de boca y garganta (final de la primera semana). Fiebre, rápida extenuación y fallecimiento posible (segunda semana). Fallecimiento probable de todos los individuos irradiados.

El ser humano siempre ha estado expuesto a la radiactividad ambiental, tan sólo de fuentes naturales, en promedio recibimos 2.4 msv. al año. Una de las fuentes naturales de radiación cósmica es la que nos llega de fuera del planeta. La atmósfera sirve de blindaje para la mayor parte de ella, pero de cualquier manera las personas reciben una dosis de 0.3 a 1 mSv al año. La fuente más

importante de estas radiaciones es la inhalación de radón (Rn) y gas natural que se emite por el decaimiento radiactivo de todos los materiales que contienen uranio con valores de dosis efectiva de 0,2 a 10 mSv al año. También existen fuente de radiación creadas por el hombre como pueden ser los reactores nucleares y los aparatos para usos médicos e industriales.

Los isótopos que emiten radiaciones nucleares pueden afectar al hombre en 2 formas:

FORMA EXTERNA. Las partículas alfa no pueden afectar de forma externa, ya que solo penetran unas micras en la piel pero de mucho impacto debido a su ionización específica muy alta (partículas atómicas pesadas emitidas por radioisótopos pesados como U^{238}). Los emisores de partículas beta son más importantes por el poder de penetración en el tejido, unos cuantos milímetros. Los emisores gamma, y los neutrones son las fuentes que pueden afectar principalmente de forma externa, debido a su poder de penetración, por lo tanto pueden afectar a cualquier órgano.

FORMA INTERNA. Se presenta cuando la fuente radiactiva se encuentra dentro del organismo, esa fuente puede ingresar al cuerpo por ingestión, inhalación y/o absorción (a través de la piel o por contacto con una herida abierta). La permanencia de la sustancia en el cuerpo queda determinada por los mecanismos naturales de eliminación de los elementos químicos. Por ejemplo: una sustancia química que se elimina con la orina sólo permanecerá unas cuantas horas, pero una que se fija en los huesos permanecerá durante toda la vida del individuo; por lo que es importante la evaluación de la vida media efectiva, la cual toma en cuenta $t_{1/2}$ radiactiva y biológica. [37]

El uranio es químicamente tóxico a altas concentraciones y puede ocasionar daños en órganos Internos, particularmente en riñones. estudios realizados en animales sugieren que el uranio puede afectar la reproducción, el desarrollo del feto, e Incrementar el riesgo de leucemia y cáncer en tejidos blandos, además de los efectos no cancerígenos debido a la exposición por la contaminación nuclear, desde quemaduras y enfermedades hasta efectos genéticos (como son las malformaciones congénitas o deformaciones como consecuencia de las mutaciones), las cuales están apareciendo entre la población nacida después de algún accidente como es el caso de los niños de Chernóbil. La leucemia está entre las mayores afecciones que son transmitidas a los descendientes de los supervivientes.

Después de las bomba lanzadas sobre Nagasaki (agosto 1945), en la extinción del fuego y otras tareas de urgencia en los días inmediatos al accidente, intervinieron cerca de 800.000 personas llamados "liquidadores", quienes trabajaron sin protección y sin que se controlaran las elevadas dosis de radiación que recibían, la Comisión Nacional de Energía Atómica notificó miles de casos de cáncer de tiroides y en otros órganos, así como daños no cancerígenos en los trabajadores de emergencia.

En la minería y molienda de uranio se exponen los trabajadores y pobladores vecinos principalmente al polvo o a metales pesados durante el proceso de conversión y enriquecimiento del uranio ya que se utilizan enormes cantidades de ácidos que producen efectos nocivos en la piel y en el sistema respiratorio, sobre todo cuando se inhala junto al radón²²² (Rn²²²), uno de los isótopos formados en el decaimiento del uranio. Por ese motivo la enfermedad

más frecuente entre los trabajadores de las minas de uranio es el cáncer de pulmón, contraídos debido a la alta exposición de radiación alfa. [3]

El estroncio (Sr^{90}) es uno de los 200 elementos radiactivos, productos de fisión que producen las centrales nucleares cotidianamente durante la fusión de núcleos, las dosis son demasiado bajas durante su funcionamiento "normal". El estroncio es un potente emisor beta que se desintegra con itrio (Y^{90}), parte de esos isótopos tiene la probabilidad de causar daño al encontrarse en las estructuras celulares, ADN, en los huesos y en los dientes. Con en el estudio "ratoncito Pérez", se comprobó en los dientes de los pobladores cercanos a las centrales nucleares (con un incremento del 37% de Sr^{90} promedio en los dientes de leche). [40], [42]

CASOS EN LA HISTORIA

El 26 de Abril de 1986 tuvo lugar una catástrofe sin precedente en la historia de la industria de la energía. El reactor nº 4 de la central nuclear de Chernóbil en Ucrania sufría un grave accidente por la fusión de su núcleo provocado por un error humano y como consecuencia lanzamiento de toneladas de material altamente radiactivo a la atmósfera. La cantidad de radiactividad desprendida fue equivalente a 200 veces la que se liberó durante los bombardeos atómicos de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945 (considerados conjuntamente). Los productos de fisión expulsados a la atmósfera en Chernóbil entre otros fueron yodo (I^{131}), cesio (Cs^{137} y Cs^{134}), estroncio (Sr^{90}) y plutonio (Pu^{239}) los cuales crearon masas de aire contaminado: la nube radiactiva, que se formó fue arrastrada por el viento, no sólo afectando la zona próxima a la central sino que esparció su radiactividad por casi toda Europa; alcanzó incluso a España, especialmente a Cataluña y Baleares.

La detonación también afectó a las generaciones futuras de todos los que la sobreviven.^[42] Una parte importante de las emisiones de radiactividad (aprox.25%) se produjo en las 24 horas que siguieron a la explosión en el reactor, el resto fue emitido en el transcurso de los nueve días siguientes que duró el intenso incendio que se declaró. Según datos oficiales, más de 400.000 personas se vieron forzadas a dejar sus hogares. En general, la evacuación se realizó de forma ineficaz y con gran retraso. Así, la totalidad de la población de la franja de 30 km alrededor de la central (zona de exclusión) no fue evacuada por completo hasta el 21 de mayo de 1986. A pesar de ello, dentro del territorio de la antigua Unión Soviética 9.000.000.personas siguen viviendo en zonas altamente contaminadas. Naciones Unidas calcula que un área de aproximadamente 160.000 km² (una cuarta parte de la extensión del estado español) ha quedado contaminada irreversiblemente con altísimos niveles de radiactividad.



niño de Chernóbil

La exposición "niños de Chernóbil" muestra el efecto de la radiactividad en una serie de imágenes tomadas por el fotógrafo ruso Vitaly Barzdyka, de la agencia de prensa Novosti, esta exposición revela uno de los aspectos más duros del accidente, como es el caso de la salud en generaciones futuras de aquella tragedia.

Más de 100 toneladas de combustible nuclear y de 400 kilos de plutonio continúan en el interior de las ruinas del reactor accidentado. Para confinarlo y evitar la liberación de más radiactividad se tuvo que realizar en condiciones muy difíciles y sin las estructuras necesarias para soportar su carga extra una construcción de acero y hormigón (concreto), de 50 metros de altura: conocido como el "sarcófago", actualmente está dejando escapar radiactividad de forma continua por sus 200 m² de grietas, pero este problema se agrava si se considera la radiactividad que se liberaría si algunas secciones del sarcófago se derrumbarán. ^[42]

En 1979 en la central de Three Mile Island (Harrisburg, Estados Unidos), se produjo una fusión del núcleo no controlada, provocando un accidente.

En España, en 1989 por muy poco se libró de una tragedia similar en Tarragona, a causa del accidente ocurrido en la central Vandellós-I, lo que obligó a su cierre definitivo.

En Dinamarca, Austria, Estados Unidos y otros países se lleva a cabo desde hace años una planificación energética más racional basada en la eficiencia energética y las energías renovables: la verdadera energía limpia, aunque no suficiente.

CAPÍTULO 7

REGULACIONES INTERNACIONALES

La regulación nuclear puede separarse en cuatro grandes grupos:

1. Funciones de los reguladores nacionales
2. Residuos
3. Seguridad
4. Protección radiológica

Las bases científicas de toda la regulación internacional existente se fundan en estudios propios y recopilaciones llevadas a cabo por los siguientes Organismos:

- CIPR americana (Comisión Internacional de Protección Radiológica) fundada en 1928 por la Sociedad Internacional de Radiología, que es una Asociación Científica sin ánimo de lucro e independiente dedicada a fomentar el progreso de la ciencia para la protección radiológica en beneficio público. Para ello edita periódicamente documentos científicos en forma de recomendaciones o guías en todos los aspectos de la protección radiológica. Su sede se encuentra en el Reino Unido y su secretaría científica en Suecia.

- UNSCEAR (Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica) fue creado por la Asamblea General de Naciones Unidas en 1955. Su misión es estimar niveles y efectos de exposición a radiación ionizante, e Informar de ellos. Los Informes del Comité se usan como base científica para evaluar los riesgos de la radiación y para establecer medidas de protección.

- NAS/BEIR americana (National Academy of Sciences/ Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation). La Academia Nacional de Ciencias

(NAS) informa sobre riesgo de radiación. El Comité (BEIR) estudia los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, publica las repercusiones importantes sobre la forma de protección contra las radiaciones, hace los reglamentos y la forma de cumplirlos de acuerdo con el Instituto de la Energía y del Medio Ambiente de Investigación (IEER).

- AEN/NEA (Agencia para la Energía Nuclear). Agencia intergubernamental planeada en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE). Su principal objetivo es promover el uso de la energía nuclear con propósitos pacíficos. ^[3]

También existen algunos Organismos nacionales, que emiten documentación dedicada a cada uno de los campos que sirven de guía a otros países. Así ocurre por ejemplo con:

- NCRP americana (Consejo Nacional de Protección contra las Radiaciones) tiene la misión de formular y difundir ampliamente la información, orientación y recomendaciones sobre protección contra las radiaciones y las mediciones que representan el consenso de los principales pensamientos científicos. La misión de Consejo abarca la responsabilidad de facilitar y estimular la cooperación entre organizaciones que se ocupan de lo científicos y los aspectos relacionados con la protección de la radiación y mediciones. ^[43]

- NRC americana (Consejo Nacional de Investigaciones). Funciona bajo los auspicios de la Academia Nacional de Ciencias (NAS), la Academia Nacional de Ingeniería (NAE), y el Instituto de Medicina (OIM). Las cuatro organizaciones son denominadas colectivamente como las Academias Nacionales. La NAS, NAE, la OIM, y el Consejo noruego para los Refugiados forman parte de un particular.

Es una institución sin fines de lucro que proporciona la ciencia, tecnología y asesoramiento en materia de políticas de salud en virtud de una carta del Congreso firmado por el presidente Abraham Lincoln que fue inicialmente concedida a la NAS en 1863. En virtud de esta carta, el Consejo noruego para los Refugiados fue creado en 1916, la NAE en 1964, y la OIM en 1970. La misión de la NRC es mejorar la toma de decisiones gubernamentales y la política pública, aumentar la educación pública y la comprensión, promover la adquisición y difusión de conocimientos en cuestiones relacionadas con la ciencia, la ingeniería, tecnología y salud. La institución tiene este cargo y trabaja para informar las políticas y acciones que tienen el poder para mejorar la vida de las personas en todo el mundo. ^{[44], [45]}

- EPA americana (Environmental Protection Agency, Agencia de Protección Ambiental, USEPA). Agencia del gobierno federal de los Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y cuidar el entorno natural: aire, agua y tierra. La EPA fue propuesta por el presidente Richard Nixon y comenzó a funcionar el 2 de diciembre de 1970, cuando fue aprobada por el Congreso y firmada en ley por el presidente Nixon, desde entonces ha sido principalmente responsable de la política medioambiental de los Estados Unidos. Es dirigida por el administrador quien es nombrado por el presidente de los Estados Unidos.

- HPA inglesa (Health Protection Agency, Agencia de Protección de la Salud). NRPB es parte del centro de radiaciones químicas y peligros para el medio ambiente, su especialidad son las radiaciones ionizantes y no ionizantes, donde se llevan a cabo investigaciones para avanzar en los conocimientos sobre protección contra los riesgos de estas radiaciones, dispone de un

laboratorio y servicios técnicos para ejecutar cursos de capacitación, proporciona información especializada y tiene una importante función consultiva en el Reino Unido:

- CEA francesa (Comisión de Energía Atómica) y otras regulaciones específicas, tienen en mayor o menor medida una relación con la energía nuclear.^[46]

A partir de todas ellas, existen dos Organismos Internacionales que desarrollan las bases para la legislación de la generación y manejo de la energía nuclear: la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) en Europa y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) que ha establecido pautas normativas y cuenta con un equipo de expertos que realizan inspecciones periódicas en los diferentes países para verificar que las instalaciones nucleares operan conforme a dichas disposiciones normativas.^{13]}
[20], [21]

Debido a los múltiples usos que la tecnología moderna hace de la radiactividad tanto para la generación de energía como para procesos industriales, científicos y terapéuticos que las autoridades estén obligadas a generar marcos legales actualizados que les permitan prevenir e intervenir en los posibles daños que pueda generar esta actividad al medio ambiente y a la salud. Es por ello que urge diseñar un marco normativo que involucre a las autoridades ambientales en la prevención y control de la contaminación radiactiva que puedan generar distintas fuentes como resultado del manejo de dichas sustancias radiactivas.

REGULACIONES EN MÉXICO

En México, las autoridades involucradas en la regulación y control de las actividades nucleares incluyendo el manejo de los materiales y residuos radiactivos (ya que pueden representar un riesgo para la salud) son la comisión nacional de seguridad nuclear y su brazo técnico es el Instituto de Investigaciones Nucleares, dependientes de la Secretaría de Energía y la Secretaría de Salud de México a través de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. [33]

LEY DE CALIDAD DEL AGUA

El incremento de la oferta de agua como herramienta para el impulso económico y una sobreexplotación de los recursos naturales han conducido a un deterioro importante de los mismos, esto ha hecho necesario un cambio en los planteamientos sobre la política del agua, que han tenido que evolucionar desde una simple satisfacción en cantidad de las demandas, hacia una gestión que contempla la calidad del recurso y la protección del mismo como garantía de un abastecimiento futuro y de un desarrollo sostenible.

Se llama calidad de agua al conjunto de características físicas, químicas y biológicas que la hacen apropiada para un uso determinado, esta definición ha dado lugar a la normativas que asegura la calidad suficiente para garantizar determinados usos, pero que no abriga los efectos y consecuencias que la actividad humana tiene sobre las aguas naturales.

La Ley de Aguas de 1985 y su modificación por la ley del 13 de diciembre de 1999, suponen un cambio importante en los conceptos y criterios utilizados en la planificación hidrológica e introducen la calidad de las aguas y la protección de los recursos naturales como puntos fundamentales para estructurar dicha planificación. [3]

CONVENIOS Y PROTOCOLOS

El Convenio de Oslo de 1972 está compuesto por representantes de 15 gobiernos y la Comisión Europea, trata del manejo de residuos en el mar, mientras el Convenio de París de 1974 sobre las fuentes terrestres de contaminación marina, se combinan para formar el convenio OSPAR, el cual se rige por las declaraciones ministeriales. El trabajo se aplica al enfoque ecosistemático para la gestión de las actividades humanas. En 1992, este convenio fue el instrumento para orientar la cooperación internacional sobre la protección del medio marino del Atlántico Nordeste. ^[47]

El protocolo de Kyoto trata sobre el cambio climático, es un Acuerdo Internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de gases que influyen en el calentamiento global: dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación a las emisiones al año 1990, es decir, si la contaminación de estos gases en el año 1990 alcanzaba el 100%, al término del año 2012 deberá ser del 95%. Cada país obligado por el protocolo de Kyoto tiene sus propios porcentajes de emisión que debe disminuir. ^{[18], [36]}

En el acuerdo de BONN en el 2001, se establecieron los mecanismos de compra/venta de emisiones de gases de efecto invernadero y los mecanismos de intercambio de tecnologías, excluyendo ambos explícitamente a la energía nuclear. De este modo, no se pueden reducir las cuotas de emisión de los países altamente industrializados mediante la venta de tecnología nuclear a países menos desarrollados.

El IPCC (Panel Intergovernmental on Climate Change, Panel Intergubernamental sobre el Cambio del Clima) estableció en 1988 por la WMO (World Meteorological Organization, Organización Meteorológica Mundial) y el UNEP (United Nations Environment Programme, Programa Ambiental de las Naciones Unidas) recomiendan en su cuarto informe el uso de la energía nuclear como una importante forma (junto a las energías renovables y la eficiencia energética) de reducir la emisión de gases de efecto invernadero.^[48]

-Tratado de prohibición completa (ctbt) de los ensayos nucleares – México

“ La energía de las estrellas y su brillo procede de reacciones de fisión nuclear”

Hans Bethe (1906-2005).

Físico estadounidense de origen alemán, ganador del premio nobel de física en 1967 por su descubrimiento de la nucleosíntesis estelar.

El Tratado de Prohibición Completa (CTBT) de los ensayos nucleares, se lleva a cabo en 1966, teniendo como objetivo el prohibir todas las explosiones de ensayo de armas nucleares. El trato no podía ser más simple: todos los países podrían beneficiarse con el uso pacífico de la energía nuclear siempre que renunciaran a sus ambiciones de construir sus propias armas nucleares.^[49] El Tratado ha logrado una adhesión casi universal, el artículo XIV de dicho tratado requería la ratificación por 44 estados, antes de que entrara en vigor, de estos estados, tres: India, Pakistán y Corea del norte no habían firmado; otros siete estados: China, Colombia, Egipto, Indonesia, Irán, Israel, y los Estados Unidos habían firmado pero no ratificado el tratado. Hoy en día varios países se rigen bajo dicho Acuerdo para regular el uso de energía nuclear.^[50] Para que el Tratado entrara en vigor fue necesario contar con el apoyo de un gran número de estados. El tratado establece un sistema complejo de verificación y muchos estados requirieron de una asistencia especial para mejorar su comprensión, identificar los beneficios concretos que se derivan del mismo y de esta forma acelerar sus procedimientos de ratificación. El Tratado de no proliferación nuclear que finalmente comenzó a tener efecto en 1970, fue el resultado de la iniciativa de Eisenhower, así como la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), fundada en 1957; el trabajo de esta Agencia con

sede en Viena fue el de promover la tecnología nuclear para generar electricidad alrededor del mundo, al mismo tiempo que el de prevenir que muchos países la utilizarán para construir bombas. [34]

En el intercambio general de opiniones de la conferencia sobre medidas para facilitar la entrada en vigor del Tratado de prohibición completa de los ensayos nucleares que se llevó a cabo el 11 de noviembre del 2001 en Nueva York, la embajadora Olga Pellicer afirmó -México es un eslabón en la cadena de esfuerzos a favor de la paz y la seguridad internacional-. El CTBT fue un claro reconocimiento por parte de la Comunidad Internacional, del peligro que representa la realización de ensayos nucleares, ya que evita el desarrollo y mejoramiento cualitativo de nuevas armas, es una pieza clave en pro de la seguridad internacional y un paso adelante en el proceso sistemático para lograr el desarme y la no proliferación de las armas nucleares, son objetivos que desde hace décadas ocupan un lugar prioritario en la política exterior de México. También Pellicer resaltó que en México persisten algunos círculos de interés para el desarrollo de armas nucleares y resurgen teorías de posesión o perfeccionamiento de dichas armas, papel estratégico para la seguridad nacional, en tales circunstancias se acentúa la amenaza del uso y proliferación de armas nucleares. Por último Pellicer recalco que el compromiso de México con el Tratado de no Proliferación y con el desarme nuclear se mantendrá independientemente de las difíciles situaciones que se presenten en el futuro.

[49]

CAPÍTULO 8 CONCLUSIONES

La radiactividad fue descubierta en 1896 con los descubrimientos de Becquerel, esposos Curie y Rutherford, por tanto, tienen un desarrollo de 113 años, tiempo muy corto si es comparado con la escala histórica del desarrollo científico. Durante este tiempo, el conocimiento acerca de los materiales radiactivos y disciplinas científicas que derivan de ellos como: la radioquímica, química de las radiaciones, química nuclear, fisión nuclear, ingeniería nuclear, física de neutrones, medicina nuclear, radiología y seguridad radiológica; han tenido un avance fundamental.

Las investigaciones sobre energía nuclear empezaron con la construcción de una bomba atómica; el más adelantado dispositivo de destrucción masiva desarrollado a finales de la guerra. Antes del inicio de la guerra ya se había probado que la fisión nuclear era posible, lo que llevo a la idea del desarrollo de un arma que empleara esta tecnología, de manera que su capacidad destructiva fuera lo mínima posible, el problema radicaba en que los materiales radiactivos que se usaban para la elaboración de estas armas eran muy difíciles de obtener.

El descubrimiento de los materiales radiactivos ha dado un enorme paso al conocimiento de las características y medios de producción de un gran número de radioisótopos establecidos.

Una de las grandes cualidades de la fisión es que es una ENERGÍA LIMPIA, SEGURA Y BARATA, ya que una planta nuclear no emite grandes

cantidades de gases contaminantes a la atmósfera como dióxido de carbono (CO₂), gas metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

Además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF₆). Es una energía segura ya que cada planta nuclear debe de cumplir con la secretaría de salud, a través de la comisión federal para la protección contra riesgos sanitarios, la cual contiene medidas de seguridad tanto para personal que labora como para protección de pobladores. Es una energía barata porque su combustible son elementos químicos o radioisótopos y no combustibles fósiles (proviene del fósil de organismos vivos) como sucede en las industrias eléctricas. Generalmente el combustible utilizado en las plantas nucleoelectricas es el uranio. Los minerales de uranio más importantes son: la peblenda, la uranita y la carnotita, cuyos isótopos radiactivos son empleados para:

- La obtención de combustible para los reactores nucleares donde es enriquecido generalmente en U²³⁵ al 2-3%, que producen el 17% de la electricidad obtenida en el mundo.
- Fabricación de armas nucleares. ^[61]
- Estabilizadores de uranio empobrecido para aviones, satélites artificiales y veleros. ^[62]
- Adición de uranio para la creación de cristales verdes o fluorescentes en amarillo. ^[63]
- Algunos accesorios luminosos utilizan uranio del mismo modo que lo hacen algunos químicos fotográficos (nitrato de uranio). ^[39]
- U²³⁸ es convertido en Pu²³⁹ en los reactores de cría. El Pu puede ser usado en los reactores o en armas nucleares. ^[64]

- Actualmente el plutonio (Pu^{238} con $t_{1/2}=8.7$ años) es utilizado en pilas para marcapasos funcionando con partículas alfa ya que duran de 10-12 años en deteriorarse.

- Entre los usos de los radioisótopos se encuentra la PET (positron emission tomography), consiste en la formación de imágenes de partes del cuerpo funcionando (ejemplo: corazón, pulmones, riñones, cerebro, etc) usando como trazadores isótopos radiactivos 4 elementos: C, O, N, F, de $t_{1/2}$ muy corta, emisores de positrones o partículas beta con carga positiva y formados por reacciones nucleares con protones acelerados (H ionizado).

Hoy en día, las plantas nucleoelectricas proliferan en muchos países del mundo (ejemplo; Estados Unidos, China, Japón, Rusia, Inglaterra, Francia, etc.) y en vista de otros más, lo mismo que las aplicaciones de radioisótopos en muy variados aspectos de la ciencia, tecnología e industria, de modo que su estudio parece tener una gran proyección hacia el futuro y su avance probablemente será indispensable en los próximos años.

Como conclusión del trabajo se busca con base a la información recaudada definir una posición en cuanto a la energía nuclear de forma coherente, como postura final y con argumentos sostenibles se concluye: A FAVOR de la energía nuclear (fisión) como una importante forma, junto a las energías renovables y la eficiencia energética de reducir la emisión de gases de efecto invernadero, usos benéficos para el hombre y gran aportación económica al país.

Sin duda alguna la energía nuclear, será la energía del futuro y si bien se ha avanzado mucho en el tema durante todos estos años, es necesario el desarrollo de:

- Nuevas técnicas para el debido reciclaje y confinamiento adecuado de los productos de fisión, los cuales provienen del combustible fisionado.
- Reactores de fisión con tecnología avanzada, usando Th^{232} como combustible en vez de uranio enriquecido en U^{235} o Pu^{239} .
- Reactores de fusión nuclear (deuterio + tritio).

CAPÍTULO 9

GLOSARIO

Radiactividad o Intensidad de Radiación = Fenómeno físico natural por el cual algunos cuerpos o elementos químicos llamados inestables (radiactivos), emiten radiaciones que tienen la propiedad de impresionar placas fotográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria, etc. debido a esa capacidad se las suele denominar radiaciones ionizantes (en contraste con las no ionizantes). La radiactividad tiene como unidad curie/curio (Ci) o becquerel (Bq), en general. ^[4]

Barras de combustible= contienen al elemento fisionable. Ej.: uranio. ^[7]

Bariones= subpartículas compuestas por 3 quarks (neutrones, protones y sus antipartículas). ^[7]

Barras de control= contienen elementos o compuestos que retienen/capturan a los Neutrones, imposibilitando la fisión nuclear y lograr reducir la cantidad de fisiones, debido a esto la función de control se establece, por lo tanto, la energía térmica producida por el reactor puede disminuir o aumentar según se desee. ^[3]

Calor = es una forma de energía asociada al movimiento de los átomos, moléculas y otras partículas que forman la materia. El calor puede ser generado por reacciones químicas (como en la combustión), nucleares (como en la fusión nuclear de los átomos de hidrógeno que tienen lugar en el interior del sol), disipación electromagnética (como en los hornos de microondas) o por disipación mecánica (fricción). El calor es una energía degenerada puesto que el trabajo se puede transformar íntegramente en calor, pero no al contrario (segundo principio de la termodinámica). ^[3]

Confinamiento inercial= consiste en conseguir las condiciones necesarias para que se produzca la fusión nuclear dotando a las partículas del combustible, de movimiento necesaria para vencer la barrera coulombiana y poder producir la reacción nuclear de fusión. ^[4]

Confinamiento magnético= consiste en contener material dentro de un `campo magnético`, con forma determinada para que las partículas positivas o negativas en estado de plasma se queden dentro de dicho campo.

Esto se consigue gracias a la ley de Lorentz, que nos dice que una partícula cargada que se mueve dentro de un campo magnético experimenta una fuerza perpendicular al vector del campo y al vector desplazamiento. ^[3]

Deuterio (D)= elemento químico cuyo símbolo es H^2 , es un isótopo estable del hidrógeno que se encuentra en la naturaleza con una abundancia de uno de cada 6500 (0,015%). Aunque no es un elemento en el sentido estricto, es isótopo del hidrógeno tiene el doble de masa atómica que el hidrógeno También recibe el nombre de hidrógeno pesado. El deuterio combinado con el oxígeno forma agua pesada.

El núcleo del deuterio está formado por un protón y un neutrón (ya que el hidrógeno tiene un solo protón). Cuando el isótopo pierde su electrón el ion resultante recibe el nombre de deuterón. ^[51]

La existencia del deuterio en la Tierra, en otras partes del sistema solar (según lo confirmado por las sondas planetarias) y en los espectros de estrellas, es un dato importante en cosmología. La abundancia natural de este elemento parece ser una fracción muy similar a la del hidrógeno, dondequiera que se encuentre este.

En química y bioquímica, el deuterio se utiliza como trazador isotópico no radiactivo en moléculas para estudiar reacciones químicas y caminos metabólicos, debido a que químicamente se comporta semejantemente al hidrógeno, pero puede ser distinguido de este por su masa molecular, usando espectrometría de masa o espectrometría infrarroja. [52]

Efecto túnel= consiste en que una partícula pueda atravesar la barrera de potencial sin tener energía suficiente para rebasarla por encima, debido a que usualmente la probabilidad de que la partícula se encuentre al otro lado de la barrera es no nula. [54]

Electrón (e^-)= En un átomo los electrones rodean el núcleo, compuesto únicamente de protones y neutrones. Tienen una masa pequeña respecto al protón y su movimiento genera corriente eléctrica en la mayoría de los metales. [7]

Elemento= sustancias químicas fundamentales que no se pueden descomponer más que por procedimientos de reacciones nucleares. Es una clase de átomos que poseen el mismo número de protones en su núcleo. [14], [54]

Las reacciones entre los elementos químicos para originar compuestos tienen lugar según su masa atómica y valencias. Para designarlos brevemente se emplean símbolos. [51]

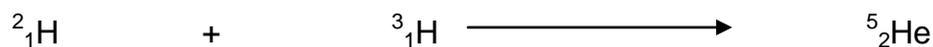
Energía= La capacidad para realizar un trabajo y que permanece invariable con el tiempo. Es un número escalar (propiedad cuantitativa) que se le asigna a una magnitud física. Es la capacidad de los cuerpos para producir cambios en su alrededor. Ej. energía de ionización, energía de enlace y energía calórica. La energía nuclear es liberada en las reacciones nucleares de fisión y puede ser aprovechada. [35]

Fértil= que puede convertirse en fisionable por reacciones nucleares. ^[54]

Fisionable = que puede fisionarse. Un material fisionado es que ya sufrió fisión. ^[54]

Fisión= En un proceso nuclear, ocurre cuando un núcleo pesado se divide en dos núcleos pequeños, más algunos subproductos (grupos de partículas). Estos subproductos incluyen neutrones libres, fotones (generalmente rayos gamma), partículas alfa (núcleos de helio) y beta (electrones y positrones de alta energía). ^[54]

Fusión nuclear= proceso mediante el cual dos núcleos atómicos pequeños se unen para formar uno de mayor peso atómico, ejemplo:



No debe confundirse con el término fusión del núcleo, que hace referencia a que la parte más "interna" (núcleo) del reactor nuclear se funde como resultado del cese de su adecuado control y refrigeración. ^[54]

Ignición= En química se refiere al material caliente que espontáneamente combustiona. En fusión nuclear, se refiere a las condiciones bajo las cuales un plasma* puede ser mantenido en reacción de fusión sin la intervención de energía procedente del exterior. ^[14]

Implosión= es la atracción de material por falta de presión. Ej.: un foco o una TV -de cinescopio-. ^[35]

Neutrino= es una partícula subatómica de carga neutra y espín ½. Los últimos estudios han confirmado que los neutrinos tienen masa, aunque ésta no se conoce con exactitud. Su interacción con las demás partículas es mínima por lo que pasan a través de la materia ordinaria sin apenas perturbarla. Los

neutrinos no se ven afectados por la fuerza electromagnética o nuclear fuerte, pero sí por la fuerza nuclear débil y la gravitatoria. ^[7]

Nucleones= neutrones y protones, en conjunto se conocen como nucleones ya que conforman el núcleo de los átomos. El protón y el neutrón fuera del núcleo atómico son Inestables y tienen una vida media de 15min emitiendo un electrón y un antineutrino para convertirse en neutrón y protón respectivamente. ^[7]

Plasma= partículas cargadas o iones libres mediante fuertes campos magnéticos, se vuelve tan caliente que no se conocen materiales capaces de soportar tales temperaturas. El plasma es un estado de agregación de la materia en el que la agitación térmica es capaz de vencer la atracción eléctrica que sufren los electrones en los núcleos atómicos, ejemplo: los átomos se disgregan, los núcleos de hidrógeno pueden chocar y fusionarse obteniendo helio. ^[35]

Positrón o antielectrón= es la antipartícula correspondiente al electrón, por lo que posee la misma masa y la misma carga eléctrica, aunque obviamente de signo contrario es positiva, forma parte de la antimateria aunque se producen en numerosos procesos radioquímicos como parte de transformaciones nucleares. ^[7]

Protón= es una partícula subatómica con una carga eléctrica de una unidad fundamental positiva ($1,602 \times 10^{-19}$ culombios) y una masa de 938,3 MeV/c² ($1,6726 \times 10^{-27}$ Kg.), del mismo modo, unas 1836 veces la masa de un electrón. Experimentalmente, se observa el protón como estable dentro del núcleo, con un límite inferior de vida media de unos 10^{35} años, aunque algunas teorías predicen que el protón puede desintegrarse. ^{[7]r}

Radiología = es la especialidad médica que estudia a la imagen del interior del cuerpo basada en diferentes agentes físicos (radiación ionizante o rayos X, resonancia magnética, ultrasonidos, campos magnéticos, etc.) así como de utilizar estas imágenes para el diagnóstico y en menor medida, para el tratamiento de las enfermedades (Radioterapia). ej.: para detener o frenar el crecimiento de aquellos tumores que son sensibles a la radiación. También se le denomina genéricamente radiodiagnóstico o diagnóstico por imagen.

En medicina nuclear, otra especialidad médica encargada del diagnóstico por la imagen mediante el uso de trazadores radiactivos (como yodo) inyectados en el cuerpo que se fijan con diferente afinidad a los distintos tipos de tejido. Es una rama de diagnóstico y tratamiento.

Radioterapia= es una forma de tratamiento basado en el empleo de radiaciones ionizantes (rayos X o radiactividad, la que incluye los rayos gamma y las partículas alfa). La aparición en 1953 del acelerador lineal (aparato que acelera partículas) y el uso del cobalto que emite radiaciones γ , son dos de los grandes pasos que ha dado la ciencia en este terreno.

La especialidad médica que se encarga de la radioterapia es la oncología radioterápica, reconocida desde 1978 y con el nombre actual desde 1984.

La Radioterapia es un tipo de tratamiento oncológico que utiliza las radiaciones para eliminar las células tumorales (generalmente cancerosas), en la parte del organismo donde se apliquen (tratamiento local). La radioterapia actúa sobre el tumor, destruyendo las células malignas y así impide que crezcan y se reproduzcan. La Radioterapia o la Oncología radioterápica no se debe confundir con: Radiología.

Según la distancia en que esté la fuente de irradiación, se pueden distinguir dos tipos de tratamientos:

1.- Braquiterapia. Importante en tumores localizados.

2.- Teleterapia o Radioterapia Externa. La radiación puede ser de rayos gamma, rayos X, electrones, protones o núcleos atómicos. La radioterapia externa convencional es la radioterapia conformada en tres dimensiones (RT3D) en 1960, gracias a la ayuda del TAC (tomografía computarizada) y a los sistemas informáticos del cálculo dosimétrico se obtienen imágenes virtuales. En 1990 otras técnicas de imagen para cerebro y músculos como la resonancia magnética nuclear (RMN), ecografía y PET, se han incorporado a la planificación de la radioterapia, con las que se obtiene una delimitación más exacta del volumen tumoral para respetar a los tejidos sanos. Ya en el siglo XXI, empiezan a surgir complejos sistemas de radioterapia 4D, es decir, una radioterapia que tiene en cuenta los movimientos fisiológicos de los órganos como los pulmones durante la respiración. ^[59]

Rayos X= son una radiación electromagnética (de la misma naturaleza que las ondas de radio, de microondas, rayos infrarrojos, la luz visible e invisible, rayos ultravioleta y rayos gamma), capaz de atravesar cuerpos opacos y de impresionar películas fotográficas.

La diferencia fundamental con los rayos gamma es su origen: Los rayos X surgen de fenómenos extranucleares, a nivel de la órbita electrónica, fundamentalmente producidos por producto de la desaceleración rápida de electrones muy energéticos (del orden 1000eV) al chocar con un blanco metálico, es decir, por una desaceleración de electrones.

Según la mecánica clásica, una carga acelerada emite radiación electromagnética, de este modo el choque produce un espectro continuo de rayos X, en general se encuentra entre la radiación ultravioleta y los rayos gamma producidos naturalmente. Röntgen es el descubridor de estos tipos de rayos, le colocó el nombre de "X" porque no sabía que eran, ni como eran provocados, por que esto significa "desconocido"; interactúan con la materia y podían ser en parte absorbidos y en parte transmitidos, dándole mayor sentido que cualquier otro nombre.

Así nace una de las ramas más poderosas y excitantes de la medicina: la radiología, permitiendo observar estructuras óseas como ayuda de diagnóstico, por lo que años después se decidió que conservara ese nombre. ^[2]

También se usan en procedimientos tales como la angiografía, o en estudios de contraste ^[58] y en la difracción de rayos X la cual es una de las herramientas más útiles en el campo de la cristalografía (explora la estructura de la materia cristalina). ^[7]

Reacción en Cadena= una reacción en cadena ocurre como sigue: la fisión ocurre lanzando 2 o más neutrones como subproductos, estos neutrones se escapan en direcciones al azar y golpean otros núcleos incitándolos para experimentar la fisión, el proceso se construye rápidamente y así sucesivamente.

El número de los neutrones que se escapan de una cantidad de uranio depende de su área superficial, por lo tanto, solamente los materiales fisibles son capaces de sostener una reacción en cadena sin una fuente externa de neutrones. ^[35]

Residuos radiactivos= son residuos que contienen elementos químicos radiactivos que no tienen un propósito práctico. Son el subproducto de un proceso nuclear, como la fisión nuclear. El residuo también puede generarse durante el procesamiento de combustible para los reactores o armas nucleares, en las aplicaciones médicas como la radioterapia y/o la medicina nuclear. [3]

Transuránidos= son los elementos que tienen un número atómico superior al del uranio como el curio, el neptunio o el americio. [60]

Tritio= es un isótopo radiactivo del hidrógeno. En forma de gas se utiliza en las bombas de fisión para aumentar considerablemente su potencia ya que los neutrones emitidos por la fusión del tritio (^3H) consiguen una utilización más completa del material fisible de plutonio o uranio, es apenas peligroso, emite β^- de muy poca $E_M = 0.0186\text{MeV}$. Esta presente en la atmósfera terrestre. La mitad de una muestra de tritio se desintegra en 12.5 años. [60]

Uranio (U)= es un elemento químico con número atómico 92. Es una sustancia radiactiva, forma parte de las rocas, tierra, aire, agua y se halla en la naturaleza en forma de minerales, pero nunca como metal. [3] La relación U^{238}/U^{235} es constante en toda la tierra y el resto de los planetas del sistema solar. [54] Fue descubierto en 1789 por M.H. Klaproth, lo llamó así en honor del planeta uranio que acababa de ser descubierto en 1781. Ciertas rocas contienen concentraciones de uranio suficientemente altas para ser minadas. Las rocas se llevan a una planta química donde se separa el uranio por reducción del fluoruro con calcio o magnesio y se convierte en productos químicos de uranio o en metal. El residuo que queda se llama 'relave de molino', contienen grandes cantidades de productos químicos y sustancias radiactivas que no fueron separadas, tales como radio y torio. [50]

El uranio metálico es de color plateado con superficie gris y es casi tan resistente como el acero; es usado para los blancos de rayos X de alta energía: es el elemento químico más pesado de origen natural que se encuentra sobre la Tierra. Los minerales de uranio más importantes son: la peblenda, la uranita y la carnotita.^[35]

Los periodos de semidesintegración son muy largos, cerca de 200 000 años para el U^{234} , 700 millones de años para el U^{235} , y 5 000 millones de años para el U^{238} bastante adecuado para estimar la edad de las rocas ígneas y para otros tipos de datación radiométrica.^[22]

CAPÍTULO 10

Bibliografía

- 1 FCE. Fondo de Cultura Económica: El Descubrimiento de la Radiactividad Natural
<http://www.fondodeculturaeconomica.com/fondodeculturaHTM.asp>
http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/120/htm/sec_4.htm
- 2 Nobelprize.org
http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1911/
- 3 CFE. Comisión Federal de Electricidad.
<http://www.cfe.gob.mx/es/LaEmpresa/generacionelectricidad/visitasvirtuales/lagunaverdenucleoelctrica/>
- 4 Manuel Navarrete y Luis Cabrera, Introducción al Estudio de los Radioisótopos, 2ª edición, marzo 1993, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, Facultad de Química
- 5 NIF. National Ignition Facility & Photon Science.
<https://lasers.llnl.gov/>
- 6 Brown, Química: La Ciencia Central, Colección: College, Editorial Pearson, 2004, México.

- 7 Doctorado en física: Física de Campos y Partículas ofrecido en conjunto por Universidad técnica Federico Santa María y Universidad católica de Valparaíso.

<http://www.fis.utfsm.cl/partic.htm>

- 8 Per F. Peterson, Inertial Fusion Energy: a Tutorial on the Technology and Economics, California, Berkeley

- 9 Pavy y Lesley Murdin, Supernovas, Promotora General de Estudios, 1989.

- 10 Domínguez Aguilera, Inmaculada: Modelos de Curva de Luz de Supernova de Tipo IA, Colección: Tesis Doctorals Microfitxades.

- 11 Glasstone, Samuel and Dolan Philip J., The Effects of Nuclear Weapons, third edition, U.S. government printing office, 1977.

- 12 Rhodes, Richard, Dark Sun: The Making of the Atomic Bomb, Simon and Schuster, New York, 1995

- 13 IAEA. (International Atomic Energy Agency). Agencia de Energía Atómica Internacional: Energy, Electricity and Nuclear Power: developments and projections — 25 years past and future”,

<http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pubdetails.asp?pubid=7791>

- 14 Chang, Química, Ed. Mc Graw-Hill, 2007, 9a edición, México.

- 15 Condiciones de Lawson para construir un Reactor de Fusión util.
<http://www.jet.efda.org/pages/publications/yop/dec05-aere-gpr1807.pdf>

- 16 ONU. Organización de las Naciones Unidas. Artículo del periódico "Economista": Naciones Unidas baraja la energía nuclear para reducir emisiones. Publicado el 12 de junio del 2008.
<http://www.eleconomista.es/mercados-cotizaciones/noticias/595830/06/08/Naciones-Unidas-baraja-la-energia-nuclear-para-reducir-emisiones.html>

- 17 General Atomics Fusion Group: Fusion Energy Research
<http://web.gat.com/global/Home>

- 18 Energía Nuclear: El Poder del Átomo.
<http://www.energia.4d2.net/>

- 19 CEA. Comisariado de Energía Atómica sobre Fusión Magnética.
<http://www-fusion-magnetique.cea.fr/>

- 20 Infografía sobre el proyecto ITER
http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2005/03/09/140431.php

- 21 ITER. (International Thermonuclear Experimental Reactor).
<http://www.iter.org/>

- 22 M. Solache Ríos, La Radiactividad Natural: Ciencia y Desarrollo, 1983, núm. 48, pág. 16.
- 23 Kenneth S. Krane (1988), Introductory Nuclear Physics, 1a. edición, 1988, Publicaciones John Wiley & Sons, Nueva York.
- 24 Fusión Nuclear: La Alternativa que exige Tecnología Nueva.
http://www.lne.es/secciones/noticia.jsp?pRef=1738_36_550460__aviles-Fusion-nuclear-alternativa-exige-tecnologia-nueva
- 25 PATENTE GB817681
<http://v3.espacenet.com/textdoc?DB=EPODOC&IDX=GB817681&F=0>
- 26 WNA. (World Nuclear Association). Asociación Nuclear Mundial.
<http://www.world-nuclear.org/info/reactors.htm>
- 27 Consejo de Seguridad Nuclear.
Central Nuclear José Cabrera, 1 de diciembre del 2007.
<http://www.boe.es/boe/dias/2007/01/05/pdfs/A00783-00784.pdf>
- 28 Federico Goded Echeverría y Vicente Serradell García (1975), Teoría de Reactores y Elementos de Ingeniería Nuclear, tomo I, Publicaciones Científicas de la JEN.

- 29 CONACYT. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
Ciencia y Desarrollo: El Hidrógeno y la Industria Nuclear, noviembre,
2006.
<http://www.conacyt.mx/comunicacion/Revista/201/Articulos/elhidrogenoylaindustrianuclear/elhidrogylaindnucl00.htm>
- 30 Economía: El Crudo cierra una Semana de Vértigo, 21 de abril del 2006.
<http://www.elmundo.es/mundodinero/2006/04/21/economia/1145644261.html>
- 31 Levine, Fisicoquímica (Shaum), Ed. Mc Graw-Hill, 2005, México, 5ª edición.
- 32 Los Comienzos de la Era Atómica: Carta de A. al presidente de E.E.U.U. Franklin Delano Roosevelt a propósito de la bomba atómica.
<http://www.universoeinstein.com.ar/hurtado.pdf>
- 33 Gaceta Parlamentaria. Cámara de Diputados, número 1240, Martes 29 de abril de 2003. "Dictamen de la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales con proyecto de decreto que reforma y adiciona diversas disposiciones de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente"
<http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/58/2003/abr/DictaEquilibrio.html>
- 34 World Nuclear Greenpeace: Energía que Destruye.
<http://www.world-nuclear.org/info/inf17.htm>

- 35 Diccionario de química, editorial Ediplesa, México.
- 36 GREENPEACE
<http://es.geocities.com/pirineosjuan/riesgos.html>
- 37 Richard Doll. Un Pilar en la Industria del Cáncer, núm. 52.
www.radiation.org/spotlight/floridateeth.html
- 38 Garritz, Química Universitaria, Colección: College, Pearson, 2005, 1ª edición, México.
- 39 John Wright, Química Medioambiental (Environmental Chemistry). 2003.
- 40 Medicina interna y toxicología. Alexandria, VA. Asbury Park Press, Molly Mechtenberg-Berrigan, Pathfinder, verano 2003. Dr. Janette D. Sherman. Publicado el 1 de septiembre del 2005.
http://www.boell-latinoamerica.org/download_es/Los_mitos_de_la_energia_nuclear.pdf
- 41 INCS News, Thorium: Bright Star of the Next Nuclear Era, volume VI, number 1, January 2009.
- 42 Gaiaxxi.[España]
<http://gaiaxxi.iespana.es/rep-nuke5.htm>

- 43 NCRP. (National Council of Radiation Protection). Consejo Nacional de Protección contra las Radiaciones
<http://www.ncrponline.org/>
- 44 NRC. (National Research Council). Consejo Nacional de Investigaciones.
<http://sites.nationalacademies.org/nrc/index.htm>
- 45 Louis Chang, Chemistry: Toxicology of Metals, Ed. Lewis.
- 46 Hein, Fundamentos de Química, editorial Thomson, 2005, México.
- 47 Merck & Company, The Merck Index, 13^a edición.
- 48 Mc Murry John, Química Orgánica, editorial Thomson, 2004, México.
- 49 Tratado de Prohibición Completa (CTBT) de los Ensayos Nucleares.
México
<http://www.un.org/webcast/ctbt/statements/mexicoS.htm>
http://www.ctbto.org/reference/selected_statements/20060920_joint_ministerial_statement.pdf
- 50 Castellan, Fisicoquímica, Colección: College, Ed. Pearson, 1987, 4a edición, México.

- 51 Chamizo José Antonio y Andoni, Química Terrestre, Editorial Fondo de Cultura Económica, México.
- 52 Ciencia Solar. Fusión Nuclear: La Energía del Futuro.
<http://nasa.webcindario.com/tecnologia/27-12-07/te27-12-07.htm>
- 53 El Universal. Radiación Nuclear, artículo especial.
<http://www.eluniversal.com.mx/graficos/animados/videos/videoya.html>
- 54 E. Schmitter-Villada, R. Martín del Campo de Schmitter, Glosario de Especies Minerales, UNAM, México, 1980
- 55 Lev Gor'kov, Microscopic Derivation of the Ginzburg-Landau Equations in the Theory of Superconductivity, 1959, URSS, tomo 9, pág. 1364-1367.
- 56 Departamento de Física: Exposición a la Radiación. Definiciones Básicas, 2005.
<http://www.df.uba.ar/~acha/Lab5/radimetria.pdf>
- 57 Environmental Chemistry.com
<http://environmentalchemistry.com/yogi/periodic/He.html>
- 58 Dir. J. Daintith, Diccionario de Química, Colección "Llave de la Ciencia", editorial Norma S.A., Bogotá, 1985.

- 59 B. D. Cullity, Elements of X-ray Diffraction, editorial Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- 60 Disarmament Documentation. Joint Ministerial Statement on the CTBT *presented in New York at the United Nations by fifty-nine Foreign Ministers, co-chairs Australia, Canada, Finland, Japan, the Netherlands, September 20, 2006.*
- http://www.ctbto.org/reference/selected_statements/20060920_joint_ministerial_statement.pdf
- 61 W. B. Mann y S. B. Gfinkel, Radiactividad y su Medida, 1a. edición en español, Editorial Reverté Mexicana, México, 1968.
- 62 John Emsley. Las Piezas de Construcción de la Naturaleza: de la A-Z, Guía de los Elementos, 2001.
- 63 Greenwood y Earnshaw, Química de los Elementos (Chemistry of the Elements), 1997.
- 64 Bulbulian, Silvia, El Descubrimiento de la Radiactividad, Colección "La Ciencia desde México", núm. 42, Editorial Fondo de Cultura Económica, México, 1987., 1ª ed., 1987.