

### 13 Usos de la energía nuclear

La radiactividad natural es un fenómeno espontáneo producido por la desintegración de los núcleos atómicos de determinados elementos, mientras que la radiactividad artificial resulta inducida por el hombre. Ambos procesos tienen en la actualidad importantes aplicaciones, estudiaremos:

- La producción de energía eléctrica.
- Aplicaciones industriales.
- Aplicaciones clínicas.
- Datación de fósiles.

#### La producción de energía eléctrica

Una parte muy importante de la producción mundial de energía eléctrica se realiza en las centrales termonucleares. Una central de estas características se compone de un reactor nuclear, de varios circuitos de vapor y refrigeración, de un sistema de generación de energía eléctrica y de un parque de elevación de tensión.

Los reactores nucleares de mayor uso son de uno de estos dos tipos: de agua a presión *PWR* y de agua en ebullición *BWR*.

En los *PWR*, el agua que actúa de refrigerante y moderador de las reacciones nucleares de fisión que se producen en cadena, se encuentra a una presión elevada, con el fin de impedir que entre en ebullición, la presión media del refrigerante es de 157 atm y la temperatura de 327 °C. Se compone de un *circuito primario* recorrido por agua y constan de los siguientes elementos: vasija del reactor, generador de vapor, bomba del refrigerante del reactor y presionador, ver fig. 12.17. Un *circuito secundario* con agua que no pasa por el reactor, pero que se vaporiza en un generador de vapor recibiendo el calor del circuito primario, para pasar después a una turbina y a continuación al condensador, donde se condensa a agua líquida. Un *circuito terciario* formado por agua de refrigeración que enfría el condensador y que puede circular en circuito abierto o cerrado.

La vasija del reactor para una central típica de 1000 MW eléctricos de potencia, es una cuba de acero especial de unas 400 Tm, en cuyo interior se halla el núcleo del reactor, compuesto por unos tubos situados en parrillas cuadrangulares, fig.12.18, que alojan en su interior las pastillas del combustible nuclear, uranio natural enriquecido con un 2-3% del isótopo uranio-235, formando los elementos combustibles. Además, para controlar el reactor se utilizan las barras de control y ácido bórico disuelto en el agua de refrigeración, pues estos elementos son buenos captadores de neutrones y permiten controlar la reacción en cadena del uranio-235, introduciéndolos o extrayéndolos, del núcleo del reactor. Todo el circuito primario va dentro del edificio de contención de forma cilíndrica y rematado por una cúpula semiesférica, construido en hormigón armado y acero asegurando una completa estanqueidad que impida la salida de los productos de fisión tanto en condiciones normales como en accidentes.

Los reactores del tipo *BWR*, se diferencian fundamentalmente del *PWR*, en que el agua en el interior del núcleo del reactor que alcanza una presión de unas 70 atm, entra en ebullición y este vapor va directamente a la turbina, fig.12.19. Por otra parte el edificio de contención, además de una construcción exterior de hormigón armado, lleva dentro otro edificio de acero en cuyo interior se aloja el reactor nuclear, cuyas características de funcionamiento son similares a las del tipo *PWR*.

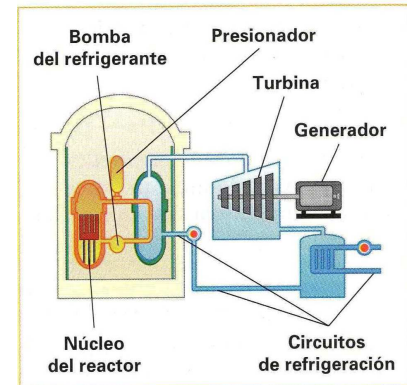


Fig.12.17. Central nuclear de agua a presión *PWR*.

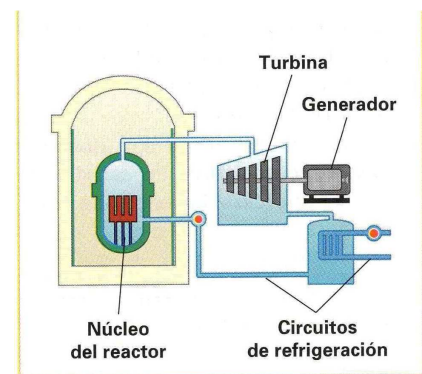


Fig.12.19. Esquema de una central nuclear de agua en ebullición *BWR*.

## Aplicaciones industriales

Los átomos radiactivos emiten partículas  $\alpha$ ,  $\beta$ , y  $\gamma$ ; que son radiaciones tedeatables mediante instrumentos adecuados, lo que permite determinar las tasas de emisión de las fuentes radiactivas, así como la de absorción por los materiales.

Las partículas radiactivas son emitidas con una cierta energía cinética, que es un millón de veces mayor que la energía de los enlaces químicos, por lo tanto al incidir sobre la materia destruyen gran parte de los entramados entre los átomos, con lo cual las propiedades del material van a variar gradualmente según las dosis absorbidas. Estos efectos químicos son de mucho interés en el campo de los polímeros o en las aplicaciones biológicas en las que la rotura de enlaces puede afectar a moléculas de vital importancia para las células imposibilitando su reproducción posterior. En esto se funda el empleo de radiación  $\gamma$  para la esterilización de instrumental clínico de un solo uso y la irradiación de alimentos para destruir gérmenes patógenos y alterar los catalizadores que inducen la evolución biológica del alimento, impidiendo la formación de tubérculos y retardando la maduración de frutas, o eliminando insectos.

Hay aplicaciones de tipo analítico, pudiendo citar: la testificación de sondeos, la medida del grado de humedad de suelos y estratos y la detección de impurezas de materiales en proceso, como la proporción del azufre en los combustibles.

De tipo físico como el control de espesores, debido a la atenuación de la radiación  $\beta$  al atravesar un material delgado o la radiación  $\gamma$  al pasar por materiales de mayor espesor. Detectores de humos, basados en la alteración que estas sustancias producen en las corrientes de ionización producidas en el aire por una pequeña fuente de partículas  $\alpha$  o  $\beta$ , situadas en un campo eléctrico. Eliminadores de electricidad estática, con una fuente de partículas  $\alpha$  que permite irradiando el aire circundante al objeto hacerlo conductor y neutralizar la carga eléctrica.

## Aplicaciones clínicas

Los radioisótopos tienen muchas aplicaciones en el campo de las aplicaciones médicas, tanto en el diagnóstico con radiotrazadores configurando la especialidad denominada Medicina Nuclear, o con fines terapéuticos basados en la interacción de las radiaciones con la materia viva, la especialidad se llama Radioterapia.

*La Medicina Nuclear* es la especialidad clínica que emplea las radiaciones ionizantes  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  que emiten los núcleos radiactivos, para fines de diagnóstico. Su historia se remonta a unos 40 años y permite el estudio funcional de órganos y la cuantificación de los procesos biológicos que tienen lugar en los mismos, así como la obtención de imágenes de la zona analizada llamadas gammagrafías, que informan sobre la forma del órgano (morfología) y de la distribución en el mismo del radionúclido.

La sustancia radiactiva utilizada tiene el mismo comportamiento en el organismo que el elemento estable no radiactivo presente en el mismo, sin embargo la emisión de radiación permite su seguimiento mediante equipos de detección. Las características de las exploraciones son las siguientes:

- Las dosis utilizadas son muy pequeñas y no alteran los procesos biológicos que van a ser estudiados.



La bomba de cobalto, utiliza como isótopo radiactivo el Co-60 de vida media 5,3 años.

Esta sustancia está rodeada por una gran esfera de plomo que presenta únicamente una abertura o canal de irradiación. Emite rayos  $\gamma$  de alta energía que permite el tratamiento de tumores en situación profunda, con protección de los planos más superficiales del cuerpo.

Esta terapia se basa en la superior capacidad de regeneración de los tejidos normales frente a los cancerosos tras la radiación. Una dosis radiactiva que destruye los tejidos tumorales, solo afecta con una lesión transitoria a los tejidos vecinos, que posteriormente se recuperan.

- El proceso de exploración no es peligroso ni generalmente molesto para el paciente, solo requiere aplicarle una inyección con la sustancia radiactiva.
- Los efectos secundarios son muy pequeños y las dosis radiactivas recibidas son equivalentes a las de una exploración radiológica.

Radionúclidos más empleados en medicina nuclear.

Radionúclido	Emisión	T <sub>1/2</sub>	Radionúclido	Emisión	T <sub>1/2</sub>
Fósforo-32	$\beta$	14 d	Galio-67	$\gamma$	3,3 d
Itrio-90	$\beta$	2,7 d	Indio-111	$\gamma$	2,8 d
Hierro-59	$\gamma$	45 d	Yodo-125	$\beta, \gamma$	59 d
Cobalto-58	$\gamma$	71 d	Yodo-131	$\beta, \gamma$	8 d
Cobalto-57	$\gamma$	270 d	Talio-201	$\gamma$	3 d
Cromo-51	$\gamma$	28 d	Tecnecio-99	$\gamma$	6 h



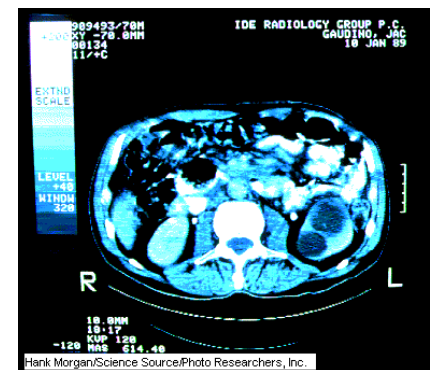
El sistema más empleado para la detección de la emisión  $\gamma$ , procedente del isótopo radiactivo administrado al paciente, es la gammacámara la cual va acoplada habitualmente a un ordenador. Este equipo consta de una cabeza detectora, la cual se sitúa sobre la zona a explorar transformando las radiaciones recibidas en señales eléctricas, con una representación espacial que es proyectada en una pantalla o recogida mediante la impresión de una placa fotográfica. También existen gammacámaras tomográficas que permiten obtener cortes del órgano a analizar según las tres direcciones del espacio, lo que mejora la resolución de los análisis de la región explorada.

Las aplicaciones de la medicina nuclear se extienden a todas las ramas de la medicina: *Oncología* (detección y tratamiento de tumores), *Endocrinología* (estudio hormonal), *Hematología* (estudio de anemias y glóbulos rojos), *Hepatología* (seguimiento de hepatitis), *Farmacología* (análisis de medicamentos en sangre), *Alergología* (sensibilización a ciertas sustancias).

La radioterapia utiliza los radioisótopos para producir radiaciones ionizantes con fines curativos, pues tienen la capacidad de destruir los tejidos malignos o tumores. Las radiaciones ionizantes empleadas en radioterapia incluyen además de las radiaciones  $\alpha, \beta, \gamma$ , el uso de los rayos X. La irradiación celular produce iónización, formación de radicales libres (moléculas independientes que tienen electrones sin aparear y que por lo tanto son muy reactivas) y agentes oxidantes y reductores que afectan el medio celular conduciendo a la destrucción de las células irradiadas. Además, la radioterapia es un valioso instrumento como tratamiento paliativo, con el que puede producirse la reducción del tamaño de tumores o lograr la regresión de metástasis destructivas (invasión de tejidos alejados del foco tumoral), mejorando la calidad de vida del paciente o inclusive permitiendo su posterior tratamiento quirúrgico.

Entre las técnicas modernas de exploración merecen ser citadas: el escáner o TAC, la resonancia magnética nuclear RMN y la tomografía por emisión de positrones PET.

El escáner o TAC, aparato de tomografía axial computerizada, fue inventado en 1972 por el inglés Godfrey Hounsfield, es un instrumento que gira alrededor del cuerpo del sujeto un ángulo de 180° emitiendo un estrecho haz de rayos X en 160 puntos distintos. Unos detectores situados en las



En la figura superior se observa el aparato para realizar un escáner y en la inferior una placa fotográfica obtenida con el mismo. La calidad de la imagen es muy superior a la conseguida con los rayos X convencionales permitiendo además observar secciones del cuerpo.

posiciones opuestas registran la radiación incidente, detectando la absorción de la misma producida por los distintos espesores de tejidos, órganos y huesos. Los datos son registrados por un computador que los transforma en imágenes sobre una pantalla, o que los registra en una placa fotográfica observándose todo un corte (sección) del cuerpo del paciente.

La resonancia magnética nuclear, RMN, se basa en la interacción de los campos magnéticos con núcleos atómicos, afectando a los momentos magnéticos de los núcleos de una muestra. Se aplica un fuerte campo magnético estático que orientan a los momentos magnéticos en el sentido de este campo, fig.12.20, para emplear después un segundo campo magnético de poca intensidad, perpendicular al anterior y giratorio, con una frecuencia igual a la natural o de resonancia de los núcleos de la muestra. Como consecuencia los momentos magnéticos se desvían un cierto ángulo del campo estático y girando a su alrededor. Al cesar el campo giratorio los momentos magnéticos nucleares vuelven sobre el campo magnético estático, emitiendo un pulso energético captado por detectores y proporcionando información sobre la estructura molecular de la sustancia. Tratando estas señales por computador, puede dar una imagen con finas secciones de cualquier parte del organismo humano, desde cualquier ángulo y dirección, además al no tratarse de radiaciones constituye un método no invasivo. Muchos lo consideran el mejor método exploratorio.

La tomografía por emisión de positrones PET, es la técnica más fina de la medicina nuclear. Básicamente consiste en registrar con imágenes la distribución en el organismo de moléculas marcadas con radioisótopos emisores de positrones (electrones positivos). Los radioisótopos son producidos con un ciclotrón, (acelerador de partículas) donde se aceleran protones o deuterones, hasta las energías cinéticas que les permitan al chocar con un blanco producir isótopos radiactivos de un semiperiodo de vida corto. Los isótopos más empleados en el PET son:  $^{15}\text{O}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{11}\text{C}$ , y  $^{18}\text{F}$  que son emisores de positrones, y que una vez emitidos se aniquilan con electrones de la materia, dando dos rayos  $\gamma$  que salen lanzados en la misma dirección y en sentidos contrarios, siendo detectados.

Al paciente se le introduce el isótopo mediante una inyección y después de una cierta espera se le sitúa sobre una camilla en el centro de una cámara de positrones que está provista de varios anillos dotados de detectores de rayos  $\gamma$ , separados unos de otros por segmentos metálicos que impiden que capten radiación que no proceda de su propio plano. Las señales detectadas simultáneamente en detectores opuestos, son transformadas en pulsos eléctricos que se envía a un ordenador que reconstruye imágenes de los tejidos situados en diversas secciones del cuerpo. Esta técnica es la de mayor resolución para la detección de tumores.

### Datación de fósiles

Los elementos como el  $^{232}\text{Th}$  y  $^{238}\text{U}$ , se desintegran formando familias radiactivas que terminan en un elemento estable. Sin embargo, un elemento radiactivo como es el  $^{14}\text{C}$ , se desintegra en  $^{14}\text{N}$  con la emisión de un electrón en un solo paso. Averiguando la proporción de  $^{14}\text{C}$  en un fósil orgánico, se puede conocer su antigüedad.

En efecto el  $^{14}\text{C}$  se forma en la atmósfera por acción de los rayos cósmicos y se incorpora a través del aire y de los alimentos a toda la materia viva, siendo su periodo de desintegración de 5 760 años. Cuando un ser vivo muere, dejar de recibir carbono  $^{14}\text{C}$  radiactivo, de modo que averiguando la proporción que todavía queda en un fósil, se puede determinar su vejez. Existen otras técnicas que utilizan otros elementos radiactivos como: rubidio-estroncio, torio, renio y osmio.

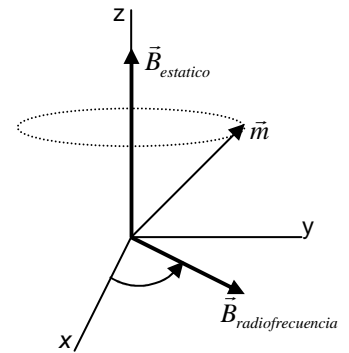


Fig.12.20. Cuando el campo magnético de radiofrecuencia se aplica con una frecuencia igual a la de resonancia de la especie nuclear, entonces el momento magnético nuclear  $\vec{m}$ , se separa del campo magnético estático situado según el eje z, efectuando un movimiento de precesión. Al retirar el campo de radio frecuencia,  $\vec{m}$  vuelve sobre el eje z, emitiéndose un pulso energético que detectado y mediante un tratamiento con ordenador, va a permitir la formación de imágenes del cuerpo.

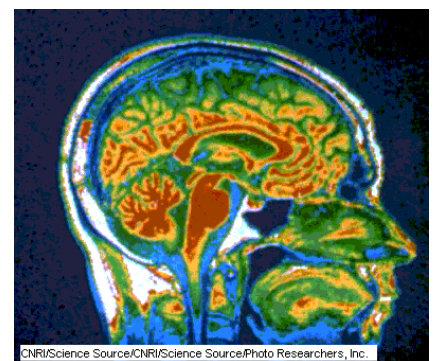
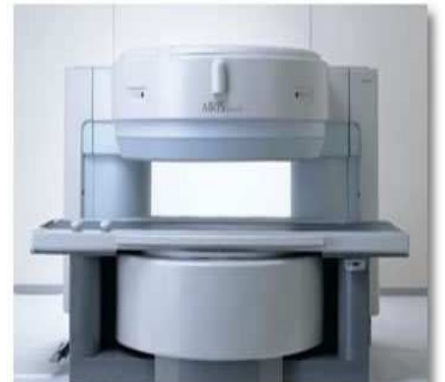


Imagen del cerebro obtenido mediante una resonancia magnética nuclear.