

ISOTOPOS

Se denominan isótopos a los átomos de un mismo elemento, cuyos núcleos tienen una cantidad diferente de neutrones, y por lo tanto, difieren en masa. La mayoría de los elementos químicos así como esta poseen más de un isótopo. Solamente 21 elementos (ejemplos: berilio, sodio) poseen un solo isótopo natural; en contraste, el estaño es el elemento con más isótopos estables.

Otros elementos tienen isótopos destructibles, pero inestables, como el uranio, cuyos isótopos están constantemente en decaimiento, lo que los hace radiactivos. Los isótopos inestables son útiles para estimar la edad de variedad de muestras naturales, como rocas y materia orgánica. Esto es posible, siempre y cuando, se conozca el ritmo promedio de desintegración de determinado isótopo, en relación a los que ya han decaído. Gracias a este método de datación, conocemos la edad de la tierra. Los rayos cósmicos hacen inestables a isótopos estables de Carbono que posteriormente se adhieren a material biológico, permitiendo así estimar la edad aproximada de huesos, telas, maderas, cabello, etc. Se obtiene la edad de 900059 años, no la del propio isótopo, ya que se tienen en cuenta también los isótopos que ya han desintegrado en la misma muestra. Se sabe el número de isótopos desintegrados con bastante precisión, ya que no pudieron haber sido parte del sistema biológico a menos que hubieran sido aún estables cuando fueron raros.

El tiempo de decaimiento se relaciona con la vida media de cada isótopo. La vida media es simplemente el tiempo que tarda la partícula, el material, o el átomo radioactivo en reducirse a la mitad.



La masa atómica;

Se conoce como masa atómica a la masa que posee un átomo mientras éste permanece en reposo. En otras palabras, puede decirse que la masa atómica es aquella que surge de la totalidad de masa de los protones y neutrones pertenecientes a un único átomo en estado de reposo. Dentro del Sistema Internacional, la unidad que permite calcularla y reflejarla es la masa atómica unificada.

Cabe resaltar que las masas atómicas también suelen ser definidas como peso atómico. Sin embargo, esto no es del todo acertado debido a que la masa constituye una propiedad del cuerpo y el peso varía de acuerdo a la gravedad.

Ejemplos:

1. Calcular el peso atómico promedio para el átomo de oxígeno, de acuerdo a la siguiente tabla:

Isotopo	Numero de Masa (A)	Masa Isotópica (m)	% abundancia
${}_8\text{O}^{16}$	16	15.9949 uma	99.76%
${}_8\text{O}^{17}$	17	16.9991 uma	0.03%
${}_8\text{O}^{18}$	18	17.9991 uma	0.21%

Reemplazando en la fórmula:

$$P.A.(E) = \frac{m_1 \times a_1 + m_2 \times a_2 + m_3 \times a_3 + \dots + m_n \times a_n}{a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n}$$

$$P.A.(O) = \frac{15.9949\text{uma} \times 99.76 + 16.9991\text{uma} \times 0.03 + 17.9992\text{uma} \times 0.21}{99.76 + 0.03 + 0.21}$$

P.A. (O) = 15.99941 uma = 16 uma (aproximado)

2. El boro tiene dos isótopos: ${}_5\text{B}^{10}$ y ${}_5\text{B}^{11}$, con masas atómicas relativas de 10.01 uma y 11.01 uma respectivamente. La abundancia de B-10 es 20%. ¿Cuál es el peso atómico promedio del Boro?

Solución:

Armamos nuestra tablita como sigue:

Isotopo	Masa Isotópica (m)	% abundancia
${}_5\text{B}^{10}$	10.01 uma	20%
${}_5\text{B}^{11}$	11.01 uma	80%

Reemplazamos en la fórmula:

$$P.A.(B) = \frac{10\text{uma} \times 20 + 11\text{uma} \times 80}{20 + 80}$$

$$P.A.(B) = 10.80 \text{ uma}$$

Existen en la naturaleza 3 isotopos de carbono estos tres isotopos tienen una abundancia promedio en la corteza terrestre, sacando la masa promedio ponderada de estos tres isotopos se obtiene nuestra masa atómica promedio, los datos que necesitamos se encuentran en la siguiente tabla

.

Isotopo	¹²C	¹³C	¹⁴C
% de abundancia	98.89%	1.11%	1 parte por 1×10¹² partes
Masa atómica	12 u	13.00335 u	14.003241 u

.

$$\text{Masa atómica estándar} = ((0.9889) \times (12 \text{ u})) + ((0.0111) \times (13.00335 \text{ u}))$$

$$\text{Masa atómica estándar} = 11.8668 \text{ u} + 0.1443 = 12.0111 \text{ u}$$

Molécula

Una molécula es la partícula más pequeña que presenta todas las propiedades físicas y químicas de una sustancia. Las moléculas se encuentran formadas por dos o más átomos. Los átomos que forman las moléculas pueden ser iguales (por ejemplo, la molécula de oxígeno, que cuenta con dos átomos de oxígeno) o distintos (la molécula de agua, que tiene dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno).

Las moléculas se encuentran en constante movimiento, lo que se conoce como vibraciones moleculares (que pueden ser de tensión o de flexión). Sus átomos se mantienen unidos gracias a que comparten o intercambian electrones.

La molécula puede ser atómica cuando tiene un solo tipo de átomo, diatómica cuando tiene dos átomos iguales o diferentes, o poliatómica cuando está formada por 3 o más átomos iguales o diferentes.

RADIOACTIVIDAD

La radiactividad o radioactividad es un fenómeno físico por el cual algunos cuerpos o elementos químicos, llamados radiactivos, emiten radiaciones que tienen la propiedad de impresionar placas radiográficas, ionizar gases, producir fluorescencia, atravesar cuerpos opacos a la luz ordinaria, entre otros. Debido a esa capacidad, se les suele denominar radiaciones ionizantes (en contraste con las no ionizantes). Las radiaciones emitidas pueden ser electromagnéticas, en forma de rayos X o rayos gamma, o bien corpusculares, como pueden ser núcleos de helio, electrones o positrones, protones u otras. En resumen, es un fenómeno que ocurre en los núcleos de ciertos elementos, inestables, que son capaces de transformarse, o decaer, espontáneamente, en núcleos atómicos de otros elementos más estables.

La radiactividad ioniza el medio que atraviesa. Una excepción lo constituye el neutrón, que no posee carga, pero ioniza la materia en forma indirecta. En las desintegraciones radiactivas se tienen varios tipos de radiación: alfa, beta, gamma y neutrones.

La radiactividad es una propiedad de los isótopos que son "inestables", es decir, que se mantienen en un estado excitado en sus capas electrónicas o nucleares, con lo que, para alcanzar su estado fundamental, deben perder energía.

La radiactividad puede ser:

Natural: manifestada por los isótopos que se encuentran en la naturaleza.

Artificial o inducida: manifestada por los radioisótopos producidos en transformaciones artificiales.

FUSIÓN NUCLEAR

La fusión nuclear es una reacción nuclear en la que dos núcleos de átomos ligeros, en general el hidrógeno y sus isótopos (deuterio y tritio), se unen para formar otro núcleo más pesado, liberando una gran cantidad de energía (ver la definición de energía).

Un ejemplo claro lo vemos a diario en la energía solar que tiene su origen en la fusión de núcleos de hidrógeno, generándose helio y liberándose una gran cantidad de energía que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética.

FISIÓN NUCLEAR

La fisión nuclear es la división del núcleo atómico en dos núcleos más ligeros con la consecuente liberación de energía. Eventualmente se producen algunos neutrones y radiación electromagnética en el rango de energías de los rayos gamma. Hay una reacción en cadena...

Las principales diferencias y características de ambos procesos son:

- Mientras que el proceso de fisión nuclear es conocido y puede controlarse considerablemente bien, la fusión plantea el inconveniente de su confinamiento, que hace que se siga investigando, aunque ya se estén produciendo grandes avances gracias al ITER.
- La reacción de fusión genera del orden de 4 veces más energía que la fisión.
- La reacción nuclear de fusión no contamina tanto como la de fisión, eliminando el peligro de los residuos radioactivos.

- La fisión necesita como materia prima, una materia prima de difícil producción, como es el Uranio enriquecido.

BOMBA ATOMICA

La explosión de una bomba atómica es un fenómeno físico que se basa en la transformación de la masa en energía según la famosa ecuación deducida por Albert Einstein: .

La suma de las masas de los átomos iniciales implicados en la reacción nuclear varía reduciéndose ésta, al ser menor la masa del átomo final, convirtiéndose la diferencia en energía.

En todas estas bombas se libera una ingente cantidad de energía en forma de calor y radiación de todas las longitudes de onda. Como consecuencia, se producen procesos convectivos en el aire y la materia sólida (polvo) del suelo se levanta en las proximidades de la explosión. Una explosión de 20 megatones aras del suelo produciría un cráter de 183m.

Algunos milisegundos después de la detonación, en torno a un 50% aproximadamente del total de energía liberada por la fisión nuclear o fusión nuclear, se deposita por radiación electromagnética en la masa de aire, volviéndose incandescente, con un color rojizo debido al óxido nitroso, la famosa bola de fuego. Dicha bola adquiere una altísima temperatura de una forma vertiginosa, alcanza temperaturas de 300 millones de °C, varias veces superior al de la superficie del Sol, así como una luminosidad equivalente.

La rápida expansión de la bola de fuego genera una onda de choque como cualquier explosión, pero de una potencia muy superior, ya que puede aplastar o barrer edificios dañándolos muy seriamente o destruyéndolos por completo. Una bomba de 20 megatones no dejaría en un radio de 20 km más que escombros, sólo se salvarían las cimentaciones y construcciones enterradas.

Por su baja densidad, al estar a una elevadísima temperatura, la bola asciende arrastrando una columna de polvo y materiales vaporizados altamente radioactivos mientras se va mezclando turbulentamente con el aire circundante. Al llegar a la tropopausa (límite entre la troposfera y la estratosfera) se ensancha formando el característico hongo, que luego deja su siembra radiactiva al precipitar en forma de finas cenizas en los territorios a sotavento de la explosión.

El pulso electromagnético debido a intensa actividad de los rayos gamma genera mediante inducción una corriente de alto voltaje sobre antenas, vías férreas, tuberías, etc., que destruye todas las instalaciones eléctricas de una amplia zona si la explosión se efectúa a gran altura. Una detonación de 20 megatones a 200 km sobre el centro de Estados Unidos destruiría todos los circuitos eléctricos integrados de ésta y parte de Méjico y Canadá.

EFFECTOS BIOLOGICOS DE LA RADIACION

Los efectos dañinos de las radiaciones ionizantes en un organismo vivo se deben principalmente a la energía absorbida por las células y los tejidos que la forman. Esta energía es absorbida por ionización y excitación atómica, produce descomposición química de las moléculas presentes.

A menos de 100 mSv, no se espera ninguna respuesta clínica. Al aumentar la dosis, el organismo va presentando diferentes manifestaciones hasta llegar a la muerte. La dosis letal media es aquella a la cual cincuenta por ciento de los individuos irradiados mueren, esta es 4 Sv (4000 mSv). En ocasiones pueden aplicarse grandes dosis de radiación a áreas limitadas (como en la radioterapia), lo que provoca solo un daño local.

Cuando la radiación ionizante incide sobre un organismo vivo, las reacciones a nivel celular son principalmente en las membranas, el citoplasma y el núcleo. La interacción en las membranas produce alteraciones de permeabilidad, lo que hace que puedan intercambiar fluidos en cantidades mayores de lo normal. La célula no

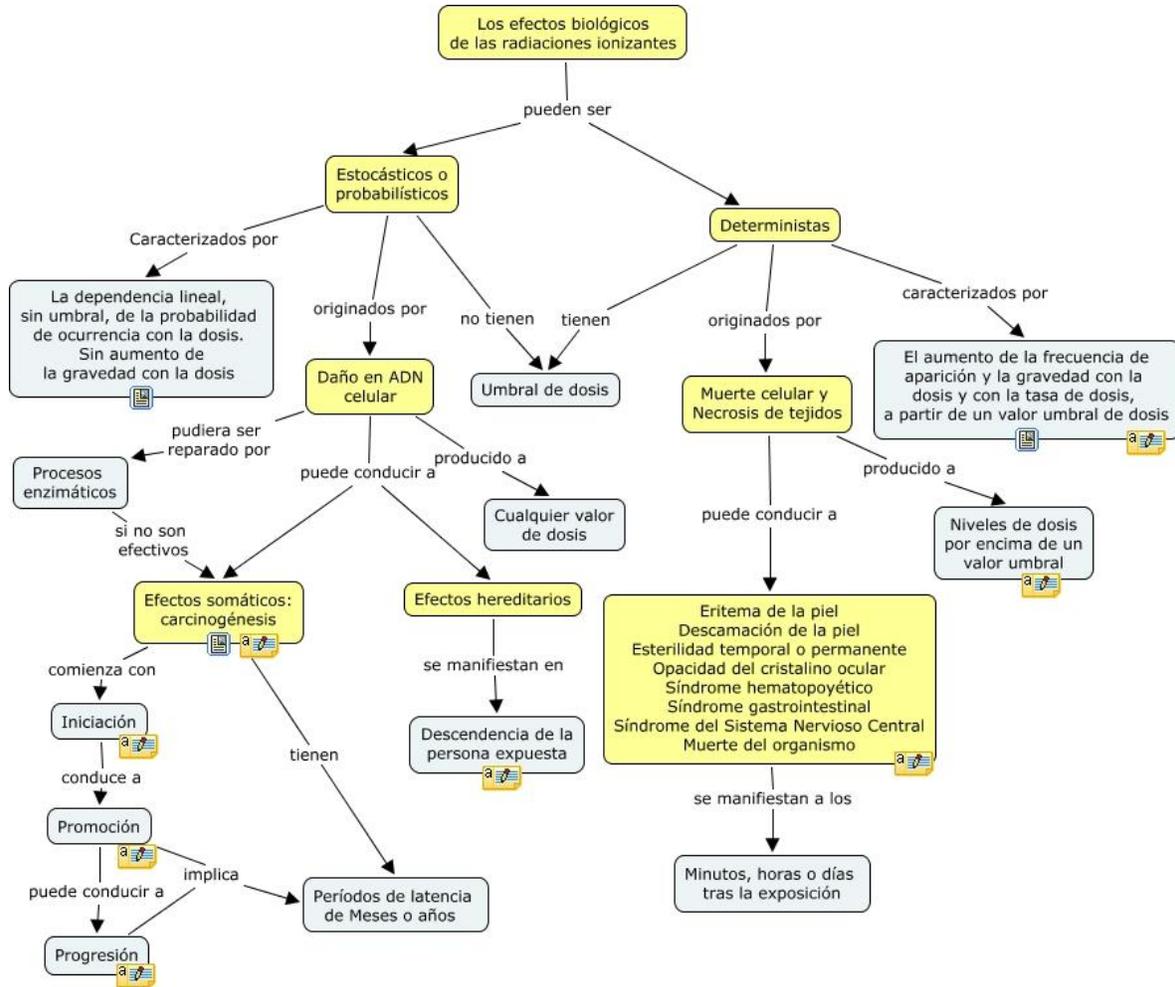
muere pero sus funciones de multiplicación no se llevan a cabo. En el caso que la interacción sea en el citoplasma, cuya principal sustancia es el agua, al ser ésta ionizada se forman radicales inestables. Algunos de estos radicales tenderán a unirse para formar moléculas de agua y moléculas de hidrógeno (H), las cuales no son nocivas para el citoplasma. Otros se combinan para formar peróxido de hidrógeno (H₂O₂), el cual si produce alteraciones en el funcionamiento de las células. La situación más crítica se presenta cuando se forma el hidronio (H₃O⁺), el cual produce envenenamiento. Cuando la radiación ionizante llega hasta el núcleo de la célula, puede producir 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, muerte, un estado latente, mutaciones genéticas y cáncer. Estas propiedades radiactivas se pueden volver benéficas, es el caso de la radioterapia que utiliza altas dosis de radiación para eliminar tejidos malignos en el cuerpo. Sin embargo, por la naturaleza de la radiactividad, es inevitable afectar otros órganos sanos cercanos.

El daño a las células germinales resultará en daño a la descendencia del individuo. Se pueden clasificar los efectos biológicos en somáticos y hereditarios. El daño a los genes de una célula somática puede producir daño a la célula hija, pero sería un efecto somático no hereditario. Un daño genético es efecto de mutación en un cromosoma o un gen, esto lleva a un efecto hereditario solamente cuando el daño afecta a una línea germinal. El síndrome de la irradiación aguda es el conjunto de síntomas que presentan las personas irradiadas de manera intensa en todo el cuerpo. Consiste en náusea, vómito, anorexia, pérdida de peso, fiebre y hemorragia intestinal.

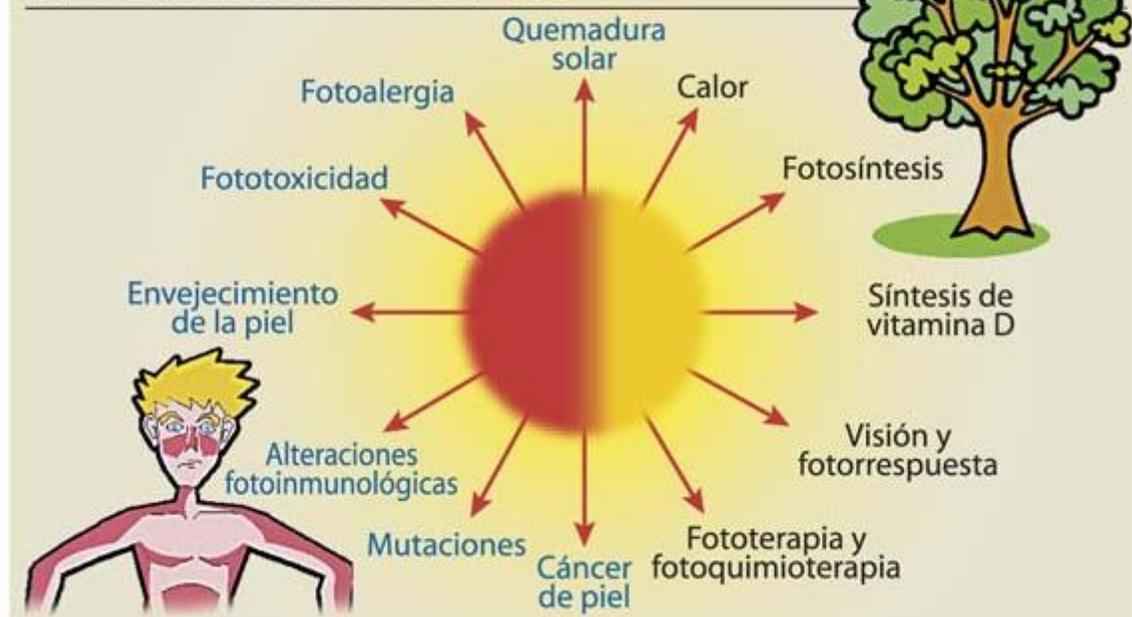
Los efectos de la radiactividad en partes locales pueden ser eritema o necrosis de la piel, caída del cabello, necrosis de tejidos internos, la esterilidad temporal o permanente, la reproducción anormal de tejidos como el epitelio del tracto

gastrointestinal, el funcionamiento anormal de los órganos hematopoyéticos (medula ósea y bazo), o alteraciones funcionales del sistema nervioso y de otros sistemas.



CASO ESPECIFICO RADAICION DEL SOL

EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN SOLAR



LA MEDICINA es el área que más se ha beneficiado con las propiedades de la radiación. En este capítulo se explican algunas de las múltiples técnicas de diagnóstico y de tratamiento de enfermedades en que se usa radiación. Se describen las bases físicas de las radiografías, la medicina nuclear y la radioterapia, así como sus principales ventajas clínicas. Debido a que la cantidad de radiación necesaria para la mayoría de los exámenes de diagnóstico o los tratamientos de radioterapia es mucho mayor que la de los niveles naturales, es en los usos médicos donde mejor se aprecia la necesaria evaluación que se establece entre los riesgos y los beneficios inherentes a cualquier uso de la radiación.

RADIOGRAFÍAS

Comencemos refiriéndonos al uso más general de radiación en medicina, las radiografías, es decir el uso de los rayos X para exámenes de diagnóstico (conocido como radiodiagnóstico). Los rayos X son producidos en un tubo de vidrio

al vacío que se encuentra en el interior del aparato metálico frente al cual se ubica al paciente. Después de que se produce la radiación, se transmite en línea recta y a la velocidad de la luz, penetra el cuerpo del paciente, lo atraviesa, sale por el otro lado, y se encuentra con una placa radiográfica (similar en muchos aspectos a una película fotográfica) donde quedará grabada una imagen anatómica del interior del cuerpo.

¿Cómo se forma la imagen del interior? Al atravesar el cuerpo del paciente, los rayos X son absorbidos más fuertemente por los huesos que por el tejido blando, de manera que al salir, aquellos rayos que en su camino encontraron huesos han sido debilitados (atenuados) más que aquellos que sólo debieron atravesar tejido sin hueso. La diferente atenuación queda registrada en la película radiográfica con diferentes niveles de iluminación y de sombra, consiguiéndose una imagen del interior.

Radiografía de tórax.

El mayor contraste (diferencia entre zonas claras y zonas oscuras) se obtiene entre la imagen de los huesos y la del tejido blando. Pero diferentes estructuras musculares no aparecen tan claramente diferenciadas y para visualizarlas se ha ideado introducir al cuerpo humano sustancias que causan fuerte atenuación de los rayos X. Es así como se logra observar todo el aparato digestivo, el urinario, el respiratorio y el cardiovascular. Al introducir sustancias radioopacas (el bario, entre otras) al torrente circulatorio, se pueden visualizar en la radiografía los vasos sanguíneos del riñón, cerebro, etcétera.

En los últimos cuarenta años se ha logrado obtener imágenes radiográficas de sólo un plano del cuerpo, ya sea transversal o longitudinal. A esta técnica se la llama tomografía. Si la imagen es de un plano transversal, es decir perpendicular al eje vertical del cuerpo, y su análisis se realiza con una computadora, la técnica se conoce como tomografía axial computarizada (TAC). Para conseguir estas imágenes se utiliza un tubo de rayos X giratorio que da una vuelta alrededor del

paciente, en el plano de interés, emitiendo radiación que atraviesa el cuerpo desde muchísimos ángulos. La absorción del haz para cada ángulo se mide con detectores electrónicos que giran al otro lado del cuerpo, al unísono con el tubo emisor. Hace más de diez años, un examen TAC se tardaba un par de minutos; actualmente, los modelos más avanzados de tomógrafos lo efectúan en pocos segundos.

Con la técnica TAC bien empleada, es posible lograr imágenes de planos delgados del cuerpo (un centímetro) distinguiendo en ellos estructuras tan pequeñas como un par de milímetros. Este invento ha representado otro gran avance en el diagnóstico, pues permite estudiar con precisión la anatomía de una región, así como las alteraciones propias de las diferentes enfermedades. El médico cuenta ahora con un diagnóstico más preciso que le permite seleccionar el tratamiento más adecuado y brindar un pronóstico más acertado.

Imagen de tomografía axial computarizada que muestra un plano delgado del cerebro humano. Los óvalos en la parte superior son los ojos.

La dosis absorbida durante un examen tomográfico puede llegar a ser de algunos rads (más que toda la radiación natural recibida en cinco años), por lo que su empleo debe limitarse a aquellos casos en que sea indispensable para lograr el diagnóstico e imposible de realizar con otra técnica de menor riesgo.

Existen, además, otras técnicas que se conocen con el nombre de radiología armada, las cuales permiten introducir, bajo control radiológico, distintos equipos al cuerpo del paciente. Estos aparatos permiten realizar acciones terapéuticas o de diagnóstico sin necesidad de operar. Es posible, por ejemplo, dilatar y obliterar vasos sanguíneos, así como obtener biopsias de tejidos profundos.

Los progresos de la radiología no se deberían medir considerando solamente el mejoramiento en la calidad de las imágenes obtenidas, pues es más importante la amplia difusión de sus técnicas a todos los rincones del mundo. Debido al gran

número de personas sometidas a exámenes radiográficos cada año, ha sido muy significativo desarrollar métodos para reducir la exposición de cada paciente a la radiación, sin descuidar la calidad de la imagen. Con técnicas de alto voltaje, por ejemplo, se produce radiación de mayor energía que fácilmente atraviesa el cuerpo del paciente y contribuye en gran parte a formar la imagen. Si la energía fuera menor, como ocurría con los aparatos más antiguos, la radiación de baja energía contenida en los rayos X la absorbería el paciente y no contribuiría a que se formara la imagen. Ahora se utilizan filtros que reducen aún más la radiación poco penetrante. Otro inconveniente conocido desde los inicios del radiodiagnóstico era la exposición de grandes zonas del cuerpo que no necesariamente requerían ser visualizadas. El empleo de colimadores, cada vez mejor diseñados, permite irradiar solamente la zona de interés reduciendo así la exposición innecesaria.

Apenas se inventó la televisión, se adaptaron televisores a los equipos radiológicos, permitiendo establecer técnicas con control remoto que eliminan la irradiación del personal del gabinete radiológico y que además permiten un control más preciso de la zona por irradiar. Más recientemente, han aparecido pantallas fluoroscópicas fabricadas con elementos llamados "tierras raras", en vez del tungstato de calcio usado en un principio. La fluorescencia producida es ahora mucho mayor y se ha podido reducir la exposición al paciente hasta en un 50 por ciento.

MEDICINA NUCLEAR

Existe otra especialidad médica dedicada fundamentalmente al diagnóstico y que también hace uso de la radiación. Se trata de la medicina nuclear, que comprende técnicas para obtener imágenes de los órganos internos o del esqueleto. Estas imágenes no representan solamente la estructura anatómica del órgano visualizado, sino que también aportan datos muy importantes sobre su estado de funcionamiento.

Para lograr estas imágenes, la medicina nuclear utiliza elementos radiactivos que se producen generalmente en reactores nucleares. Cantidades pequeñísimas de

estas sustancias son introducidas al paciente, ya sea por vía oral, intramuscular o intravenosa, y dependiendo del elemento utilizado van a depositarse en el órgano o tejido específico que se desea estudiar. Los núcleos de estos radioisótopos emiten espontáneamente radiación desde el interior de los tejidos, la cual atraviesa el cuerpo y sale al exterior, donde puede ser detectada por instrumentos especiales. Las imágenes se graban en película fotográfica, pero no de manera directa como en los experimentos de Becquerel relatados en el primer capítulo, sino a través de detectores electrónicos muy complejos que permiten observar cada uno de los rayos provenientes del paciente, amplificar la señal y convertirla en luz que se registrará en la placa fotográfica. Este sistema permite que la cantidad de material radiactivo (y por ende la dosis) que el paciente reciba sea extraordinariamente baja.

La información obtenida a partir de estos estudios permite conocer la cantidad del radioisótopo que se depositó en el órgano, la velocidad a que ocurre esta acumulación, o bien la velocidad a que lo desecha, y así conocer detalles de la capacidad funcional del órgano estudiado. Por otra parte, la imagen permite ver la distribución del material radiactivo, comprobar si es homogénea, como ocurre en los órganos sanos, o identificar zonas de concentración irregular cuyas características permiten, por ejemplo, advertir la presencia de un tumor o un quiste.

En la actualidad existen instrumentos llamados gamma-cámaras o cámaras de centelleo, que cuentan con un gran número de detectores que operan simultáneamente. Estos detectores están controlados por un sistema computarizado que permite registrar procesos dinámicos como, por ejemplo, la función de los riñones. En este caso se puede medir la capacidad de eliminación de orina de cada riñón, su paso hacia la vejiga, las condiciones en que ésta se llena, etc. Otros estudios similares son la observación del paso de la sustancia radiactiva por las cavidades del corazón, con lo que se puede medir su volumen y eficacia para impulsar la sangre. Igualmente se puede medir la cantidad de sangre que

circula por minuto por alguna parte del cerebro. Estas imágenes que combinan datos tanto estructurales como funcionales hacen que, en algunos casos de padecimientos vasculares, cardíacos, respiratorios, cerebrales y hepáticos, la medicina nuclear entregue al médico información más precisa que la que se podría obtener con rayos X u otras formas de diagnóstico.

Otro empleo de los átomos radiactivos en medicina nuclear es en el tratamiento de algunas enfermedades. Desde los inicios de esta especialidad médica, hace poco más de cuarenta años, se ha utilizado el yodo radiactivo en el tratamiento de algunas enfermedades de la glándula tiroides. Poco tiempo después se encontró la enorme eficacia de este elemento en el tratamiento de algunos tipos de cáncer de la glándula.

Actualmente se investiga la preparación de un gran número de moléculas, en especial del tipo de los anticuerpos, capaz de fijarse en forma específica a diversas clases de tumores. A estas moléculas se les puede agregar radioisótopos que emiten radiación beta, con un procedimiento llamado "marcado". Las partículas de la radiación, electrones, son poco penetrantes y por lo tanto depositarán su energía en la cercanía de la molécula marcada, es decir en el tumor. De esta manera se conseguiría destruir al tumor en su ubicación original sin dañar los tejidos vecinos.

Una tercera rama de la medicina nuclear es el radioinmunoanálisis, en que no se administran radioisótopos al paciente sino a muestras de su sangre u orina. Como lo indica su largo nombre, se trata de técnicas que utilizan la radiación para analizar sustancias dependiendo de sus propiedades inmunológicas. Las sustancias radiactivas son incorporadas a un anticuerpo específico para la sustancia que se desea analizar, que puede ser una hormona, una vitamina, un medicamento, una enzima, o incluso un virus. Cuando estos anticuerpos marcados se agregan a la muestra de sangre u orina, el anticuerpo se dirige hacia la hormona, droga o enzima correspondiente y la detección de la radiación emitida permite medir las

cantidades de la sustancia de interés. En vista de que los detectores de radiación son capaces de notar la presencia de unos pocos núcleos radiactivos, estos métodos de análisis se caracterizan por su extrema sensibilidad y pueden cuantificar cantidades tan pequeñas como billonésimas de gramo (la milésima parte de una millonésima de gramo!). Hoy, éste es el método de diagnóstico que utiliza radiactividad más usado en el mundo (y no se expone al paciente a la radiación). Tan sólo en Estados Unidos, cada año se realizan 40 millones de radioinmunoanálisis.

RADIOTERAPIA

Estas técnicas de diagnóstico, radiografías y medicina nuclear, aprovechan la capacidad que tiene la radiación de atravesar el cuerpo y entregar información en el exterior. Una filosofía opuesta es la que rige el uso de la radiación como herramienta terapéutica. La radioterapia intenta maximizar la absorción de la radiación dentro del cuerpo, de modo que la energía originalmente transportada por los rayos se deposite en una zona del cuerpo ocupada por un tumor, ocasionando tanto daño local como sea posible.

La ionización, mecanismo por el cual la radiación entrega parte de su energía al medio que atraviesa, se produce en cualquier parte de las células irradiadas. Se acepta que ocurrirá daño letal si la ionización ocurre en el núcleo celular, lo cual ocasiona el rompimiento de los cromosomas. Ahora bien, debido a que el daño letal es más aparente durante la etapa de mitosis (capítulo IV) y los tumores malignos presentan mayor número de mitosis que los tejidos normales (pues son de rápido crecimiento) es de esperar y de hecho así ocurre, que el daño mayor se produzca en el tejido enfermo.

La limitación en la cantidad de radiación usada en radioterapia se debe al hecho inevitable de que el tejido sano que rodea al tumor también resulta irradiado, por lo cual se produce, de modo paralelo al efecto deseado, un efecto negativo para la salud del paciente. La radioterapia busca entonces el óptimo equilibrio entre una

máxima irradiación al tumor y una mínima irradiación al tejido sano vecino. Este es el único caso en el que, al aplicar gran cantidad de radiación a un ser vivo, se produce un beneficio.

La práctica de la radioterapia se ha visto enriquecida por los logros del radiodiagnóstico, pues ahora es posible conocer con precisión el sitio, el tamaño y la extensión de la enfermedad a irradiar. El plan terapéutico puede realizarse con gran detalle y así concentrar la radiación en el volumen de tejido enfermo, reduciendo la dosis a los tejidos sanos.

La radiación más utilizada en radioterapia es la que proviene del elemento cobalto-60. El núcleo de cobalto-60 es inestable y al decaer se emite radiación electromagnética (rayos gamma) de alta energía. Son estos rayos los que se orientan hacia el tumor durante el tratamiento. Otro elemento utilizado en radioterapia es el cesio-137, que también decae y produce rayos gamma, pero de menor energía que aquellos del cobalto-60. La vida media de estos núcleos es de algunos años, lo que quiere decir que la actividad (rayos gamma emitidos en cada segundo, ver capítulo II) disminuye apreciablemente con el transcurso de los años. Las fuentes radiactivas deben ser reemplazadas periódicamente en los hospitales y clínicas para asegurar que los tratamientos brinden la dosis apropiada en un tiempo de irradiación no demasiado largo.

Ha habido un gran avance en radioterapia desde sus comienzos, a principios de siglo, hasta la fecha. Los primeros equipos utilizados emitían radiación de energía relativamente baja, lo que producía una dosis más elevada en piel y era difícil alcanzar valores suficientemente altos para curar el tejido enfermo profundo. Por esto se ideó la terapia de movimiento, en donde se multiplican las puertas de entrada y se logra concentrar una dosis suficiente en la zona ocupada por el tumor.

Además de los rayos gamma existen otras técnicas de radioterapia que usan diferentes radiaciones para lograr una mejor localización de la dosis en la zona del

tumor, una mejor penetración, o una mayor efectividad biológica (ver capítulo II). Los principales departamentos de radioterapia cuentan hoy en día con aceleradores de electrones (llamados linacs) que producen haces de estas partículas y también rayos X de alta energía. Los electrones son partículas que penetran débilmente el cuerpo humano, por lo que su uso es ideal para el tratamiento de tumores superficiales, en que se desea concentrar la dosis en unos pocos centímetros bajo la piel. La modalidad de rayos X de un linac presenta varias ventajas respecto de los rayos gamma del cobalto. Los primeros pueden ser mucho más intensos que los segundos, acortando el tiempo de tratamiento; debido a su alta energía son más penetrantes y depositan una dosis mayor en profundidad; su excelente definición geométrica permite proteger mejor las estructuras vitales vecinas al tumor. Aunque se reconozcan las ventajas de un linac respecto de una fuente de cobalto, hay que estar conscientes de la gran simplicidad del manejo de esta última, en comparación con el trabajo que requiere la operación de un acelerador dentro de un ambiente hospitalario. En países desarrollados, la operación de un linac requiere la presencia permanente de un físico médico, que es un profesional interdisciplinario especializado. En países tercermundistas, este tipo de profesional no siempre existe.

En unos pocos centros hospitalarios del mundo se usan otras partículas nucleares en radioterapia: neutrones, protones, partículas alfa, piones, o iones pesados. Cada técnica tiene ventajas y desventajas, dependiendo del tipo de tumor que se trate, pero todas comparten una característica: un altísimo costo económico. Los centros que las utilizan están generalmente asociados a un laboratorio de física nuclear o de altas energías, con el que comparten el uso de un acelerador. Los tratamientos con estas partículas todavía se consideran en una etapa de investigación.

El desarrollo de la energía nuclear también ha repercutido favorablemente en el campo de la radioterapia, pues aumentó el número de elementos radiactivos posibles de usar en implantaciones internas, procedimiento llamado braquiterapia.

Esta técnica consiste en introducir la sustancia radiactiva, contenida dentro de semillas o agujas selladas, al interior de una cavidad del paciente donde se encuentra un tumor y dejarla durante un tiempo. El efecto que se aprovecha es la corta distancia entre la fuente radiactiva y el volumen por irradiar, lo que proporciona dosis relativamente altas en la zona cercana a la fuente y dosis bajas en regiones alejadas. Su uso en particular es indicado para los casos de cáncer en cavidades del cuerpo humano, como el cáncer en el útero, en la cavidad oral, o bien en lesiones accesibles a ser implantadas por ser superficiales; o bien en tumores profundos, utilizando la cirugía como vía de acceso. En este último caso es deseable implantar isótopos radiactivos de vida media corta, como el oro-198 (vida media de 3 días), ya que las semillas depositadas pueden quedarse en forma permanente. Si se usara un elemento radiactivo de vida media más larga, el material debería extraerse un vez liberada la dosis deseada.

Desde comienzos de este siglo, el radio ha sido el elemento más usado en braquiterapia, pero debido a que en su decaimiento pasa por un elemento gaseoso (el radón), es posible que las agujas selladas que contienen el material radiactivo presenten fugas (causadas por rupturas producidas durante la inserción y remoción de las agujas del cuerpo del paciente) que pueden ocasionar exposiciones innecesarias para el paciente y el personal hospitalario.

Hoy en día, los organismos internacionales recomiendan no adquirir nuevas cantidades de radio para tratamientos de braquiterapia. Los hospitales que ya lo posean deberán sustituirlo, dentro de sus posibilidades económicas, por otra sustancia. Entre éstas, el cesio-137 es el que tiene mejores cualidades. Los organismos internacionales recomiendan que no se done el radio sustituido a otros países o instituciones para uso médico, pues así se conseguiría dentro de algunos años la total eliminación del radio en los hospitales del mundo. Con esto se brindaría un servicio de mayor seguridad a los pacientes y al personal. Este es un ejemplo de cómo el propio uso de técnicas y elementos logra que se perfeccione el conocimiento de sus limitantes y que se aumente la seguridad asociada. Nadie

podrá negar el beneficio del uso del radio en la primera mitad de este siglo, de igual manera, nadie podrá, en esta etapa final del siglo XX, estar a favor de que se continúe adquiriendo radio para aplicaciones médicas.

Con mucho menor riesgo que el radio se pueden usar en braquiterapia otros isótopos como el yodo-131, que con una vida media de 7 días es ampliamente utilizado en los problemas de la glándula tiroides. El fósforo-32 tiene una vida media de dos semanas y ha sido usado en el tratamiento de problemas hematológicos, en las cavidades abdominal y pleural, en cáncer de la próstata, etc. Estos dos isótopos, por su vida media tan corta, son introducidos directamente al organismo y ahí residen hasta que terminan de decaer.

RADIACION Y AGRICULTURA

·RADIACIONES IONIZANTES EN AGRICULTURA

Se utilizan las irradiaciones para aprovechar sus efectos sobre la materia, y los radiotrazadores para detectar y cuantificar sustancias:

- Desarrollo de cepas de cultivos y plantas alimenticias con mayor productividad y resistencia a la lluvia, las heladas o las plagas, que las especies originales.
- Control de insectos nocivos, como la mosca tse-tse, en Zanzíbar, la mosca de la fruta mediterránea, en México, y la larva de moscarda en el sur de Estados Unidos y el norte de África.
- Esterilización de material quirúrgico, así como de semillas o productos alimenticios para prolongar su durabilidad.
- Detección de humo en los hogares y locales públicos.
- Determinación de la eficacia de absorción de abono por las plantas para evitar el uso de fertilizantes químicos.

Como ejemplos específicos se pueden mencionar el cobalto 60(control de plagas). Cesio-137 analizar residuos plaguicidas y el nitrógeno 15 para medir el balnce de nitrógeno en los cultivos.