

Medicina y Radiación

Edgar A. Cifuentes

Septiembre 2006

INDICE

1. Introducción
2. Tipos básicos de radiación
 - (a) Radiación alfa
 - (b) Radiación beta
 - (c) Radiación gama
 - (d) Otras radiaciones electromagnéticas
3. Medida de protección contra las radiaciones ionizantes
 - (a) Distancia
 - (b) Blindaje
 - (c) Tiempo de exposición
4. Fuentes radiactivas
 - (a) ¿De donde nos llega la radiación?
 - i. Fuentes naturales
 - ii. Fuentes artificiales
 - (b) Vida media
5. ¿Cómo se mide la radiación?
 - (a) Ponderación del riesgo
6. Aparatos de diagnóstico y terapia
 - (a) Radiografías
 - (b) Tomografías
 - (c) Ultrasonido
 - (d) Resonancia magnética nuclear
 - (e) Radiodiagnóstico
 - (f) Radioterapia
7. Conclusiones
8. Ejemplos

0.1 Introducción

No existe ninguna protección totalmente segura en contra de las radiaciones ionizantes, los rayos X , los rayos γ (Gamma), los rayos β (Beta), los rayos α (Alfa) siempre son peligrosos. En algunas aplicaciones médicas se acostumbra usar algunos de estos tipos de radiaciones pero siempre bajo control, de tal manera que el riesgo que conlleva su uso sea menor que el riesgo que en sí se tiene por la enfermedad que se pretende curar. Toda la humanidad se encuentra sometida a una cierta cantidad de radiación procedente de fuentes naturales (es decir que producen ésta radiación en forma espontánea); el cuerpo humano ha evolucionado a causa de o a pesar de esta radiación, pues a la fecha no existe consenso al respecto.

Sin embargo en la actualidad el hombre puede encontrarse sometido a una cantidad mucho mayor de radiación procedente de fuentes artificiales (aparatos de rayos X , uranio u otros materiales radiactivos enriquecidos, reactores nucleares, basura radioactiva, etc. que emiten como consecuencia de la manipulación que el hombre ha hecho sobre ellos). A muchos podría parecerles que este no es un problema para alguien que habita en un país como Guatemala, pero no es cierto porque en primer lugar en Guatemala existen y se usan mucho los aparatos de Rayos X , gamagrafía y tomografía, los cuales si no están bien calibrados o se usan en exceso pueden resultar peligrosos; además en la actualidad países como el nuestro están siendo o tratando de ser invadidos por una gran cantidad de basura radioactiva procedente de los países industrializados y de esta manera aunque si en Guatemala no existen reactores nucleares, podríamos en un momento dado vernos sometidos a elevadas dosis de radiación.

Otras fuentes de radiación a que nos encontramos sometidos son las radiaciones electromagnéticas suaves procedentes de enseres domésticos, líneas de transmisión, antenas de radio y televisión, motores eléctricos

cos, teléfonos celulares, etc. Hemos denominado suaves a este tipo de radiaciones porque hasta el momento no hay suficiente evidencia de que causen daños observables en los seres vivos.

0.2 Tipos básicos de radiación

0.2.1 Radiación Alfa (α)

Las partículas alfa están compuestas de dos protones y dos neutrones, es decir son núcleos del segundo elemento de la tabla periódica; el Helio. Debido a su gran masa (más de 7,000 veces la masa del electrón) tienen un corto alcance, sin embargo dentro de este corto alcance son muy destructivas. Si se ingieren resultan muy peligrosas.

0.2.2 Radiación Beta (β)

Son electrones y tienen un poder de penetración mayor que las partículas alfa, tal que pueden atravesar inclusive la piel. También son peligrosos si son ingeridos.

0.2.3 Radiación Gamma (γ)

Es radiación electromagnética de la más alta energía y por lo tanto la más peligrosa. Debido a su alta energía, su poder de penetración es grande. Son útiles en terapia por su gran poder de penetración; y por lo mismo deben ser usados cuidadosamente, como cualquier tipo de radiación.

0.2.4 Rayos X

También son radiación electromagnética pero de menor energía que los rayos γ aunque de mayor energía que la luz visible y la luz ultravioleta (UV). Su principal uso es en el diagnóstico. Su poder de penetración es generalmente menor que el de la radiación γ , pero mayor que el de la radiación α y β .

El daño que producen los cuatro tipos de radiación mencionados es debido a la ionización que producen a su paso.

0.2.5 Otras Radiaciones EM

Dentro de este grupo clasificamos a las demás radiaciones electromagnéticas de menor energía que los rayos X. Dentro de éstas están: La luz UV, la luz visible, la radiación Infrarroja (IR), las microondas, las ondas de TV y las ondas de radio. Por su menor energía estos tipos de radiación electromagnética resultan menos peligrosos que los anteriores.

0.3 Medidas de Protección contra las radiaciones ionizantes

Si bien ninguna medida de protección es segura contra la radiación existen algunas medidas que pueden ayudarnos a reducir el riesgo a ser dañado por ella. Entre las principales tenemos a las siguientes.

0.3.1 Distancia

En el estudio de la radiación electromagnética encontramos que la intensidad de la radiación producida por una fuente puntual disminuye inversamente con el cuadrado de la distancia, es decir,

$$I = \frac{\text{Energía}}{4\pi r^2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{(r_2)^2}{(r_1)^2}$$

La intensidad es Potencia/Area y por lo tanto se mide en W/m^2 . Por lo tanto si la energía es constante se deduce la ecuación de la derecha, donde I_1 es la intensidad de la radiación a la distancia r_1 de la fuente e I_2 la intensidad de la radiación a la distancia r_2 .

0.3.2 Blindaje:

Cuando el poder de penetración es grande es necesario colocar una pared absorbente de radiación entre la fuente y la persona a proteger. Por este motivo, no se utiliza blindaje cuando se trata de radiación alfa y beta (con alcances de 5cm y 80cm respectivamente). Sin embargo muchos de los isótopos emiten junto a la radiación alfa y/o beta, radiación gama. Por lo que casi siempre será necesario usar blindajes con cualquier radioisótopo.

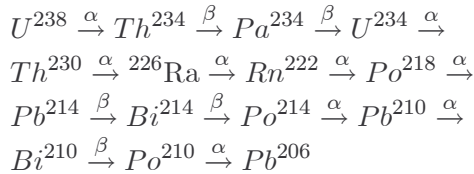
Para protegerse de la radiación gama son útiles los blindajes de plomo o hierro, ya que son muy densos. El grosor de estos blindajes dependerá de la energía de la radiación. Aunque el poder de penetración de los rayos X es menor que el de la radiación gama, siempre debe seguirse la misma recomendación.

0.3.3 Tiempo de Exposición:

Los daños que causa la radiación son proporcionales al tiempo que una persona se expone a la misma, entonces es conveniente reducir este tiempo. Esta es quizá la mejor medida de protección, por lo que si usted no tiene que trabajar con radiación, no debe exponerse inútilmente. Si por el contrario debe hacerlo, reduzca el tiempo de exposición al mínimo posible.

0.4 Fuentes radiactivas

Las principales fuentes de radiación son los isótopos inestables o radiactivos. Un isótopo es un núcleo que se desintegra en otro. Un ejemplo es el Uranio que paulatinamente se desintegra convirtiéndose en torio, en radio, que a su vez al desintegrarse se convierte en radón y llega finalmente a plomo. El detalle de la desintegración aparece a continuación. Aparece también indicado el modo de decaimiento.



La mayor parte de los isótopos emiten los tipos de radiación arriba mencionados. Muchos de estos isótopos se encuentran en forma natural aunque en cantidades pequeñas. Actualmente pueden producirse isótopos para distintos fines: educativos, radioterapia, radiodiagnóstico y como combustible nuclear. Por otra parte, los rayos X también pueden producirse frenando electrones de alta velocidad en el vacío, que es la técnica usada en los aparatos de rayos X. Por último, otra fuente de radiación, principalmente de rayos gamma, es la radiación proveniente del espacio exterior, de la cual parcialmente nos protege la atmósfera y sobretodo la capa de ozono.

0.4.1 ¿De donde nos llega la radiación?

Las fuentes que producen la radiación a la que estamos expuestos se divide en dos grandes grupos, las naturales y las artificiales.

0.4.1.1 Fuentes Naturales

Son aquellas que producen radiación por causas naturales, las dos principales son la radiación proveniente del espacio exterior y la proveniente del suelo.

La que proviene del espacio exterior es producida por las reacciones nucleares que ocurren en el interior del sol, las demás estrellas y algunos otros fenómenos cósmicos. A este tipo de radiación están más expuestas las personas que habitan en las regiones altas así como la tripulación de los vuelos aéreos de gran altitud, sobre el nivel del mar alcanza su cuota más baja. La capa de ozono de la atmósfera también nos protege de este tipo de radiación de tal forma que en los polos se

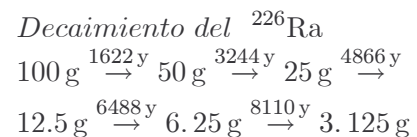
recibe mayor cantidad de ella en comparación de la que se recibe sobre las regiones ecuatoriales. La proveniente del suelo es principalmente gas radón que se concentra en las habitaciones con falta de ventilación como los sótanos, los cuartos de baño etc. Es muy fácil evitar este tipo de irradiación permitiendo que el aire circule por las habitaciones.

0.4.1.2 Fuentes Artificiales

Son aquellas que producen radiación debido a la intervención del hombre, las principales fuentes son las fuentes de las aplicaciones médicas, las fuentes de las aplicaciones industriales, las explosiones nucleares de prueba, la basura radiactiva, las centrales eléctricas nucleares, etc. Dentro de éstas son las fuentes relacionadas con las aplicaciones médicas las que más contribuyen a la dosis de radiación que la mayoría recibimos anualmente proveniente de fuentes artificiales. Exceptuando a las personas que trabajan en industrias que utilizan fuentes radiactivas y a quienes trabajan en centrales nucleares.

0.4.2 Vida Media

El decaimiento de un isótopo no se realiza en forma instantánea sino se lleva a cabo en un tiempo determinado que puede ser muy largo o muy corto. Una medida de este tiempo de decaimiento es la vida media. La vida media es el tiempo que debe transcurrir para que la cantidad de materia radioactiva se reduzca a la mitad, por ejemplo: Si se tienen al inicio 100 gramos de radio ^{226}Ra al cabo de 1622 años quedarán 50 gramos de ^{226}Ra y los otros 50 gramos serán los subproductos del ^{226}Ra , como el radón ^{222}Rn y otros. Después de 3244 años sólo quedarán 25 gramos de ^{226}Ra , después de 4866 años sólo 12.5 gramos y así sucesivamente.



Este es el decaimiento típico de los isótopos de larga vida; por otra parte existen otros cuya vida media es muy corta por lo que decaen mucho más rápido. Los isótopos de vida media corta son los que tienen uso en el diagnóstico en medicina, un ejemplo de ellos es el tecnecio $^{99}\text{Te}^m$ cuya vida media es de sólo 5.996 horas.



$$100 \text{ g} \xrightarrow{6 \text{ h}} 50 \text{ g} \xrightarrow{12 \text{ h}} 25 \text{ g} \xrightarrow{18 \text{ h}} \\ 12.5 \text{ g} \xrightarrow{24 \text{ h}} 6.25 \text{ g} \xrightarrow{30 \text{ h}} 3.125 \text{ g} \dots$$

La vida media también puede calcularse usando la función exponencial, dado que el decaimiento radioactivo depende de la cantidad de materia radiactiva presente en el momento. Esta ecuación es

$$N = N_0 e^{-\frac{0.69315 \times t}{\tau}}$$

donde N_0 es la cantidad de materia inicial, τ es la vida media del material y N es la cantidad presente al tiempo t .

Para el tecnecio que recién se discutió la ecuación anterior se lee

$$N = (100 \text{ g}) e^{-\frac{0.69315 \times t}{6 \text{ h}}}$$

entonces si $t = 30 \text{ h}$, el número presente en ese momento será

$$N = (100 \text{ g}) e^{-\frac{0.69315 \times 30 \text{ h}}{6 \text{ h}}} = 3.1249559 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

también podemos saber cuánto quedará después de transcurridos 2 años

$$1 \text{ y} = 365.24220 \text{ d} \\ N = (100 \text{ g}) e^{-\frac{0.69315 \times 365.2422 \text{ h}}{6 \text{ h}}} \\ N = 4.7327745 \times 10^{-17} \text{ g}$$

la ecuación también permite calcular cuánto tiempo debe pasar para que quede una determinada cantidad de materia, por ejemplo si queremos saber ¿cuándo habrá medio gramo?

$$\frac{1}{2} \text{ g} = (100 \text{ g}) e^{-\frac{0.69315 \times t \text{ h}}{6 \text{ h}}} \\ \frac{1}{2 \times 100} = e^{-\frac{0.69315 \times t \text{ h}}{6 \text{ h}}} \\ \ln \frac{1}{2 \times 100} = -\frac{0.69315 \times t}{6} \\ -5.2983174 = -0.115525 t \\ t = \frac{5.2983174}{0.115525} \\ t = 45.862951 \text{ h}$$

La velocidad de decaimiento es proporcional a la cantidad de materia radiactiva presente en el momento y está determinada por la ecuación

$$R = -\frac{0.69315}{\tau} N$$

así la velocidad de decaimiento inicial de la muestra de Te^m es:

$$R = -\frac{0.69315}{6 \text{ h}} (100 \text{ g}) \\ R = -3.2090278 \times 10^{-3} \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

al cabo de 24 horas sería

$$R = -\frac{0.69315}{6 \text{ h}} (6.25 \text{ g}) \\ R = -2.0056424 \times 10^{-7} \frac{\text{g}}{\text{s}}$$

en forma general puede ser calculado mediante la ecuación siguiente:

$$R = -\frac{0.69315}{\tau} N \\ R = -\frac{0.69315}{\tau} N_0 e^{-\frac{0.69315 \times t}{\tau}}$$

0.5 ¿Cómo se mide la exposición a la radiación?

- **Becquerel** Es la medida de la actividad de una fuente radioactiva y es igual a un decaimiento por segundo.
- **Rad** Es la unidad de la dosis de absorción de radiación en términos de la energía realmente depositada en el tejido. Se define como una dosis absorbida de 0.01 joules de energía por kilogramo de tejido. El rad es la unidad básica de dosis para aplicaciones clínicas.
- **Gray** Es la nueva unidad de la dosis de absorción de radiación en términos de la energía realmente depositada en el tejido. La equivalencia es 1 Gray = 100 Rads.
- **Rem** Es la unidad de medida de dosis en términos del efecto biológico que causa la radiación en el hombre. Se define como la dosis en rads multiplicada por el factor de calidad que es la capacidad de absorción relativa de un determinado tejido biológico a un tipo de radiación en particular.
- **Sievert** Es la nueva unidad de medida de dosis en términos del efecto biológico que causa la radiación en el hombre. Se define como la dosis en rads multiplicada por el factor de calidad que es la capacidad

de absorción relativa de un determinado tejido biológico a un tipo de radiación en particular. La equivalencia es 1 Sievert = 100 Rems

Existen aparatos y pequeños dispositivos (dosímetros) que miden las dosis de radiación, es indispensable su uso cuando se trabaja cerca de una fuente radioactiva.

0.6 Daños causados por la radiación

La radiación puede causar muchos tipos de daños en el organismo que van desde algunos ligeros daños en la sangre hasta la muerte dependiendo de la dosis recibida. A lo largo de muchos años se han ido acumulando datos acerca de los daños que la radiación puede causar a largo plazo y a pesar de que aún queda mucho por investigar ya hay varios resultados importantes, pudiéndose mencionar entre otros el aumento del número de mutaciones en el ADN, leucemia y cáncer. Los daños son proporcionales a la dosis recibida así:

0.6.0.1 Efectos y consecuencias de la radiación.

De 0 – 25 rem. No existen cambios observables.

De 25 – 100 rem. Pequeños cambios en la sangre.

De 100 – 200 rem. Reducción significativa de las plaquetas y de los glóbulos blancos en la sangre (temporal) del cabello, hemorragias y muerte en algunos casos.

De 200 – 500 rem. Severos daños en la sangre, pérdida

De 600 – ... rem. Muerte en menos de 2 meses en el 80% de los casos.

0.6.0.2 Nota

Los datos anteriores corresponden a la dosis recibida por el cuerpo entero.

Debido al riesgo que se corre al recibir la radiación se ha regulado la cantidad de radiación que una persona puede recibir.

La Organización Internacional de Energía Atómica (OIEA) de la cual Guatemala es un miembro ha elaborado cuidadosas tablas en las que indica las dosis que pueden ser recibidas por la gente.

Para una persona que debe trabajar cerca de una fuente de radiación (por ejemplo un operador de Rayos X, un empleado de una Planta Nuclear, etc.) el límite permitido es de aproximadamente de 5000 mRems por año.

Por el contrario para una persona que no está obligada a permanecer cerca de una fuente de radiación el límite permitido es de aproximadamente 500 mRems.

Estos valores límite permitidos tienden a bajar a medida que se obtiene más información acerca de los daños que podrían provocar las dosis pequeñas, a pesar de que no todos los grupos de investigación alcanzan fácilmente un acuerdo, debido a no se dispone todavía de suficiente información

Para tener una idea del significado de estos límites tenemos que el promedio de radiación que recibe, proveniente de fuentes naturales, un habitante de los Estados Unidos en un año (No existe esta información para Guatemala) es de 105 mRems. Desafortunadamente no siempre se pueden cumplir los límites recomendables, algunas veces a causa de la naturaleza, como en ciertas regiones de la India o de las selvas del Brasil donde se ha medido que puede llegar hasta más de 1200 mRems por año y otras a causa de fuentes artificiales como las radiografías, tomografías, etc. Volviendo a la población de los Estados Unidos se sabe que una persona promedio recibe 200 mRems por año. Tomando en cuenta que 105 mRems que provienen de fuentes naturales dejan un promedio de 95 mRems provenientes de fuentes artificiales de los cuales 70 son debidos a diagnósticos por rayos X y 25 mRems de radiación por materiales radiactivos ingeridos.

En Guatemala aparte de la radiación proveniente de fuentes naturales, la mayor cantidad de radiación que una persona recibe proviene de los diagnósticos por Rayos X y tomografías. En una radiografía se reciben alrededor 50 mRems (De 0.3 a 4 Rems) y en una tomografía 12 mRems en promedio (5 mRems); eso significa que con cuatro radiografías estaríamos recibiendo 200 mRems. Por lo tanto para no arriesgar inútilmente a un paciente no se debe abusar del diagnóstico por Rayos X y usarlo solamente cuando el caso lo amerite. Lo mismo puede decirse del diagnóstico hecho con materiales radiactivos (radiodiagnósis) y de la radioterapia. En la radioterapia usada para controlar el cáncer puede llegar a usarse hasta 5000 Rems en unas pocas semanas, pero esto puede hacerse solamente si el riesgo de muerte que corre la persona por causa del cáncer es mayor del que introduce el médico con la alta dosis de radiación.

0.6.1 Ponderación del riesgo

La dosis equivalente de radiación recibida por el cuerpo entero tiene un factor de ponderación igual a 1. Pero si

la radiación se concentra en sólo una parte del cuerpo, el factor es más grande para las partes del cuerpo más sensibles así:

0.12 Médula ósea

0.01 Superficie ósea

0.12 Colon

0.05 Vejiga

0.05 Esófago

0.05 Hígado

0.01 Piel

0.05 Tiroides

0.05 Pecho (Mujeres)

0.12 Pulmones

0.20 Ovarios y testículos

0.05 Resto del cuerpo.

0.7 Aparatos de diagnóstico:

En su ejercicio la medicina ha recibido mucha ayuda de la física, en la fabricación de algunos instrumentos de diagnóstico, modernos sistemas de cirugía y otros aparatos auxiliares. Algunos de estos aparatos basados en la radiación son los siguientes:

0.7.1 Radiografías:

El aparato de Rayos X , con el cual se obtienen las radiografías, trabaja de la misma forma que la cámara fotográfica. Pero en lugar de utilizar luz visible utiliza la radiación X , debido a que ésta es capaz de atravesar la piel y los músculos. En una fotografía se aprovecha la luz que se refleja en un cuerpo para grabar la imagen de éste. En una radiografía se aprovecha la radiación que atraviesa el cuerpo para grabar una imagen de la *sombra*.

0.7.2 Tomografías:

Funciona bajo el mismo principio que el aparato de Rayos X pero en lugar de grabar las imágenes sobre una placa radiográfica (*fotográfica*) lo hace en la memoria de una computadora, pero además no registra solamente una *sombra*, sino una serie de ellas que hacen posible

una reproducción tridimensional en forma virtual. Debido a su mayor sensibilidad necesita menos radiación de los Rayos X , lo que la hace menos dañina.

0.7.3 Ultrasonido:

El ultrasonido **NO** utiliza radiación, pero es incluido en esta sección porque es usado con el mismo fin. Funciona de manera semejante a los rayos X , pero en lugar de utilizar radiación electromagnética, utiliza ondas ultrasónicas. Éstas son ondas mecánicas, como el sonido, pero de una frecuencia más alta que nuestro oído no puede escuchar. Este sonido ultrasónico es detectado y luego transformado en imágenes de televisión mediante una serie de circuitos electrónicos. Tiene la ventaja de que al no utilizar radiación está libre de los daños que esta causa. La desventaja que presenta es que su poder de resolución es menor, es decir que las imágenes se ven con menos claridad.

0.7.4 NMR Resonancia magnética nuclear

Estos aparatos utilizan una fuente de radiación de radiofrecuencia. Por ser la radiación de radiofrecuencia (RF) de menor energía que la luz visible, inclusive, resulta menos peligrosa que los otros métodos que usan radiación. Las ondas de RF hacen resonar principalmente a los átomos de hidrógeno de nuestro cuerpo y la radiación emitida por éstos es la que finalmente se detecta. Su resolución aunque mayor que la del ultrasonido, es menor que la de los rayos x .

0.7.5 Radiodiagnóstico:

Se utiliza principalmente para ver como el cuerpo transporta o almacena en un órgano alguna sustancia. El método es muy simple, en lugar del mineral normal que el cuerpo adquiere a través de los alimentos se le hace ingerir una pequeña cantidad del mismo mineral, pero radiactivo, que a su paso a través del cuerpo va emitiendo radiación continuamente, la cual es detectada, desde afuera, dándonos una imagen del camino seguido por el mismo y también donde finalmente se va a depositar. Por ser necesaria la ingestión, debe suministrarse una cantidad muy pequeña para que los daños que pueda producir sean mínimos¹ Además el isótopo radiactivo, que se haga ingerir al paciente, debe tener una vida tan corta como sea posible, para evitar que resida

¹ Hay que recordar que siempre es peligrosa la radiación, por lo que el uso de este tipo de diagnóstico debe hacerse solo en casos necesarios.

en forma radiactiva mucho tiempo dentro del mismo, pues hay que recordar que a mayor tiempo de exposición a la radiación mayor daño. El fósforo ^{32}P se puede usar para saber como se metaboliza el fósforo normal en el cuerpo.

0.7.6 Radioterapia

La radioterapia es usada con personas que tienen tumores malignos (cáncer). Cuando su esperanza de vida es pequeña de tal manera que la enorme dosis de radiación que recibirán no disminuirá sensiblemente esta esperanza y por el contrario se espera aumentarla al erradicar algunos de esos tumores malignos. Sin embargo con los aparatos más modernos es posible usarla también en los casos en que la esperanza de vida es grande, pero usando técnicas especiales que permitan que la irradiación sobre los tejidos sanos sea muy pequeña o en casos de tumores superficiales.

La idea central de la radioterapia es irradiar los tumores malignos con el fin de matar todas las células dañinas tratando de evitar en lo posible que la radiación cause daño sobre las células sanas. Para conseguir esto último se trata de dirigir de la manera más precisa posible el haz de radiación hacia la zona del tumor. De todas formas el tratamiento debe hacerse de tal manera que el cuerpo tenga tiempo de recuperarse de las grandes dosis de radiación que recibe en cada sesión.

Los rayos X de alta energía también pueden ser usados para terapia con una efectividad semejante a la de los rayos γ .

0.8 Conclusiones

Pueden sacarse varias conclusiones de todo lo dicho anteriormente, por ejemplo:

1. Debemos tener siempre cuidado con la radiación, independientemente de su origen.
2. No se debe abusar de los diagnósticos por radiografías y tomografías.
3. Debemos de tratar de estar los más lejos posible de las plantas de energía nuclear.
4. Debemos estar lejos de la basura nuclear, por lo tanto no la debemos permitir en Guatemala.
5. No debemos ingerir materiales radiactivos.

0.9 Ejemplos:

1. Se tienen 25 gramos de ^{59}Fe con vida media de 45 días ¿Cuánto tiempo debe pasar para que queden solo 0.2 gramos?

0 días	→	25 g
45 días	→	12.5 g
90 días	→	6.25 g
135 días	→	3.13 g
180 días	→	1.56 g
225 días	→	0.78 g
270 días	→	0.39 g
315 días	→	0.20 g

2. A una persona que durante un año le han hecho 5 radiografías y 2 tomografías ¿Cuánta radiación habrá recibido?

$$105 + 50 \times 5 + 12 \times 2 = 274 \text{ mRems}$$

¿Será recomendable esa dosis? Si puesto que no se ha rebasado el límite de 500 mRems.

3. Si un operador de rayos x recibe un 1% de la dosis de radiación que recibe el paciente, por encontrarse en el mismo ambiente que el aparato de rayos x , ¿Cuántas radiografías puede sacar como máximo en un año sin rebasar el mínimo recomendable?

$$\begin{aligned} 50 \text{ mRems} &\rightarrow 100\% \\ x &\rightarrow 1\% \end{aligned} \rightarrow x = 0.5 \text{ mRems}$$

$$5000 \text{ mRems} = 0.5 \times n \text{ mRems} \rightarrow n = 10,000$$

4. ¿A cuánto se reduce la intensidad de la radiación, si ésta es de 400 Joules/m² a una distancia de 4 m, cuando se mide a 8 m de distancia?

$$\text{Energía} = 400 \times \pi \times 4^2 = (x) \times \pi \times 8^2$$

$$x = 400 \times \frac{16}{64} = 100 \text{ J/m}^2$$

Algunos isótopos usados en medicina

1	Elemento	Isótopo	Vida Media
1	Yodo	^{131}I	8.08 días
2	Tecnecio	^{99m}Tc	5.996 horas
3	Cobalto	^{60}Co	5.24 años
4	Cesio	^{131}Cs	9.69 días
5	Sodio	^{22}Na	2.58 años
6	Fósforo	^{32}P	14.3 días
7	Azufre	^{35}S	88 días
8	Hierro	^{59}Fe	45 días
9	Cromo	^{51}Cr	27.8 días
10	Rubidio	^{86}Rb	18.8 días
11	Estroncio	^{85}Sr	64 días
12	Xenón	^{133}Xe	5.27 días

Guatemala, Septiembre de 2006