

Radiaciones ionizantes y efectos sobre la materia

SANDRA MAGALY MEDINA ARAÚJO¹
PEDRO JULIO REYES TORRES²

RESUMEN

Las radiaciones ionizantes, además, de tener muchas aplicaciones benéficas tanto en el campo industrial como en los organismos vivientes, presentan también muchos efectos nocivos que se deben evitar, sobre todo cuando se trata de fuentes artificiales con las que pueden presentarse abusos en su utilización, especialmente en la parte clínica.

Este artículo, el primero de una serie de divulgaciones acerca del tema, pretende dar a conocer las características y efectos sobre la materia, de las mencionadas radiaciones, así como algunas recomendaciones acerca del manejo y tratamiento de dichas radiaciones.

Palabras clave: radiación, ionización, partículas elementales.

SUMMARY

Ionizing radiations have beneficial applications both in the industrial field and in living organisms.

1,2 Docentes de física de la Facultad de Ingeniería de la UMNG.

present every nosive effects too, over all when tray artificials sources with abusive in their used, in clinical used specially.

This paper, is the first of series about this subject and we give know to characteristics and effects about this radiation.

Key Words: radiations, ionizans and biological effect.

INTRODUCCION

Las "radiaciones", como una forma básica de *transferencia de energía de una fuente a otra*. son tema de gran interés, no solo desde el punto de vista de la Física, sino también por sus efectos en organismos vivos. De acuerdo con la energía que poseen, pueden clasificarse como radiaciones ionizantes y radiaciones no ionizantes.

Actualmente se conocen ampliamente los fenómenos relacionados con las radiaciones ionizantes, sus aplicaciones científicas y tecnológicas, los efectos nocivos que pueden causar sobre la materia en general y sobre la materia biológica en particular. Sin embargo, en nuestro país son temas a los que se les ha dado muy poca importancia y difusión, no obstante que toda la población está expuesta en mayor o menor proporción a su influencia y riesgos que no pueden ser ignorados por ningún estamento, especialmente por los sectores académicos quienes tienen los retos y las responsabilidades frente a la humanidad en este nuevo milenio. Con este artículo se quieren DIVULGAR algunas de las características de las radiaciones ionizantes, plantear los efectos nocivos que estas pueden causar en la parte biológica y formular algunas recomendaciones al respecto.

1. CARACTERISTICAS GENERALES

Las radiaciones ionizantes son aquellas que por su energía, longitud de onda y frecuencia, pueden desligar a un electrón de su átomo. En ese

instante en que el electrón es separado del átomo al que pertenecía, se produce un proceso conocido como ionización, consistente en la formación de un par de iones, el negativo (el electrón libre) y el positivo (el átomo sin uno de sus electrones).

Existen dos tipos de radiaciones ionizantes:

1.1. De origen electromagnético

Constituido por rayos gamma, rayos X y rayos ultravioleta. En este caso se trata de una onda compuesta por un campo eléctrico y un campo magnético perpendiculares entre si y a la dirección de propagación. La radiación electromagnética viaja en el vacío a la velocidad de la luz ($c=2.99792 \times 10^8$ m/s) y muestra características duales de onda y partícula, dependiendo de como es observada y/o medida. La radiación viaja formando paquetes discretos de energía, llamados *fotones*. La energía de un fotón depende de la frecuencia (o de la longitud de onda de la radiación), según la fórmula:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

Siendo:

h = la constante de Planck (6.62618×10^{-34} J.s)

ν = frecuencia

λ = longitud de onda

c = velocidad de la luz

Se puede apreciar que a mayor frecuencia, hay mayor energía transportada.

1.1.1. Radiaciones gamma

Tras emitirse una partícula a o b del núcleo de un átomo, aquel queda aún con un exceso de energía que se elimina en forma de ondas electromagnéticas de alta frecuencia (entre 10^{20} y 10^{24} Hertzios (Hz), denominadas radiación gamma. Este tipo de radiación no tiene masa en reposo ni carga eléctrica y su interacción con la materia se hace a través de colisiones con las capas electrónicas de los átomos, perdiendo muy poca energía, por lo que pueden viajar cientos de metros en el aire, y sólo son detenidos por gruesas capas de hormigón, plomo o agua.

A la vez que tienen efectos nocivos, los rayos gamma tienen efectos benéficos, por lo que son ampliamente utilizados en la industria, la biología, la agricultura y la medicina entre otros. Se utiliza, por ejemplo, en la conservación de alimentos y en el diagnóstico y tratamiento del cáncer, como es el caso del cobalto-60 o el Tecnecio-99, y el Cesio 137, utilizado en la calibración de instrumentos para medición de radiactividad. La radiación gamma es capaz de penetrar profundamente en los tejidos; sin embargo, libera menos energía en el tejido que las radiaciones α o β .

1.1.2. Rayos X

Constituyen el primer ejemplo de radiación ionizante de naturaleza electromagnética, cuyas frecuencias oscilan entre 10¹⁷ y 10²⁰ Hertzios (Hz). Fueron descubiertos por Roëntgen en 1895 cuando trabajaba con un tubo de rayos catódicos. Encontró que los rayos originados en el punto donde incidían los rayos catódicos (electrones) en el tubo de vidrio, o bien en el blanco situado dentro del tubo, podían pasar a través de materiales opacos a la luz y activar una pantalla fluorescente o una película fotográfica. No pudo desviar estos rayos en un campo magnético ni pudo observar fenómenos de refracción o interferencia asociados con las ondas, por lo cual los llamó rayos X.

En los tubos de rayos X modernos, se emplea Tungsteno como cátodo (blanco), y se ha conseguido una modulación muy fina de la energía de las radiaciones emitidas, lo que permite lograr imágenes más definidas (radiografías, diagramas cristalográficos).

1.1.3. Radiación ultravioleta

Son ondas con frecuencias entre 10¹⁴ y 10¹⁷ Hertzios (Hz), que se producen por átomos y moléculas en descargas eléctricas. Su energía es del orden de magnitud de la energía involucrada en muchas reacciones químicas, lo que explica muchos de los efectos químicos. El sol es una fuente

mucho poderosa de radiación ultravioleta, siendo este factor el principal responsable del bronceado de la piel. Esta radiación interactúa con los átomos presentes en la alta atmósfera, lo que explica la alta ionización de esta a alturas superiores a los 80 Km.

1.2. Otro tipo de radiación ionizante lo constituyen partículas subatómicas como electrones, protones y neutrones

Los átomos de los que están formadas todas las sustancias, están constituidos por una región central, el núcleo, y a su alrededor por electrones que describen órbitas con determinadas energías. El núcleo, a su vez, está constituido por la asociación de protones y neutrones, partículas ambas de masa comparable, la cual es mayor que la masa del electrón en unas 1836 veces, y mientras el electrón y el protón tienen carga de igual magnitud, el neutrón es una partícula eléctricamente neutra.

El número de protones presentes en un núcleo, caracteriza químicamente a cada uno de los elementos (es el número atómico, Z), y la suma del número de protones y el número de neutrones (N) en el núcleo establece las características físicas de ellos (este es el número másico, A). El núcleo de todos los átomos de un elemento en particular tiene el mismo número de protones, pero puede diferir en cuanto al número de neutrones; en este caso se tienen los denominados isótopos. Por ejemplo, el carbono en forma natural presenta los siguientes: ${}^1_6\text{C}$, ${}^{12}_6\text{C}$, ${}^{13}_6\text{C}$ y ${}^{14}_6\text{C}$. En el caso del hidrógeno se tiene: ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ y ${}^3_1\text{H}$.

Resulta increíble que en una región tan pequeña como el núcleo ($r < 10^{-14}$ m), se agrupen los protones y neutrones, más si se tiene en cuenta que entre los protones hay fuerzas coulombianas repulsivas que deberían ocasionar la desintegración del núcleo. Empero, existe otra fuerza atractiva en el núcleo de muy corto alcance ($\sim 2 \text{ fm} = 2 \times 10^{-15} \text{ m}$) denominada "fuerza nuclear" que actúa entre pares de neutrones y entre

neutrones y protones, haciendo que el núcleo se mantenga estable.

Es interesante destacar que los núcleos ligeros son más estables en la medida que el número de protones y neutrones sea igual, en tanto que los núcleos pesados son más estables si el número de neutrones excede el número de protones, situación que se comprende debido a que al haber mayor número de protones, la intensidad de la fuerza coulombiana aumenta tendiendo a romper el núcleo, requiriéndose más neutrones para mantener la estabilidad. Es curioso, además, que la mayoría de los núcleos estables tengan números mágicos de valores pares; sólo ocho tienen números atómicos y neutrónicos impares. Para los valores de Z o $N = 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126$, conocidos como números mágicos, se tiene la estabilidad más alta.

Cuando hay un exceso de protones o neutrones frente a las combinaciones estables, se presentan núcleos inestables que tienden a transformarse en núcleos más estables mediante la emisión de alguna partícula nuclear, ocasionándose la radiactividad. Las partículas emitidas por los átomos radiactivos consisten o bien, en partículas alfa (α), o bien en partículas beta (β). Generalmente, ambas partículas van acompañadas de una radiación electromagnética conocida como radiación gamma (γ).

1.2.1 Partículas alfa

Estas partículas son núcleos de helio doblemente ionizados, ${}^4\text{He}$, (dos protones unidos con dos neutrones), con espín total igual a cero. Son emitidas generalmente por núcleos de elementos pesados, como el uranio, el torio o el radio, con energías comprendidas entre 3 Mev y 9 Mev.

Debido a la constitución de las partículas alfa, estas tienen doble carga positiva (debido a los dos protones); comparadas con otro tipo de radiación, estas partículas son muy pesadas y transportan suficiente energía, por lo cual pue-

den interactuar con cualquier partícula que se encuentre en su camino, incluyendo los átomos componentes del aire, generando en una corta distancia, un gran número de ionizaciones.

En general, transfieren su energía con gran rapidez, y su poder de penetración en los materiales es pequeño, pudiendo ser detenidas por una hoja de papel. Este tipo de radiación suele actuar sobre los lugares en que son depositados, ya sea por sedimentación, ingestión o inhalación. La radiación alfa se frena en las capas exteriores de la piel y no es peligrosa, a menos que se introduzca directamente, a través de heridas, alimentos, etc

1.2.2 Partículas beta

Las partículas beta (β) tienen su origen en un proceso de reorganización nuclear, en el que el núcleo emite un electrón y una partícula denominada neutrino (${}^0_0\nu$) que se lleva algo de la energía perdida por el núcleo. La radiación beta tiene lugar en los isótopos ricos en neutrones y que suelen ser elementos producidos en reacciones nucleares naturales y en las plantas de energía nuclear.

Las partículas beta pueden ser electrones de carga negativa, o electrones con carga positiva (positrones); por su pequeña masa reaccionan menos frecuentemente con la materia que las partículas alfa, pero son más penetrantes que estas. Se pueden detener con capas delgadas de plástico o de metales ligeros como el aluminio. Se introducen uno o dos centímetros en los tejidos vivos.

1.2.3 Neutrones

El neutrón (n) es una partícula elemental de masa comparable a la masa del protón y de carga eléctrica nula. Se encuentra abundante en los núcleos de todos los átomos existentes en la naturaleza, pero siempre ligado a la materia. Es una partícula elemental que puede desintegrarse con un periodo de desintegración de 12.5 minutos en protones y electrones de acuerdo con la

siguiente ecuación: $n = p^+ + e^- + \nu$, siendo ν el neutrino (partícula necesaria para que haya conservación de momento y energía). Sin embargo, el neutrón no puede existir aislado por tiempos suficientemente largos, pues para que se cumpla esta desintegración es absorbido por los átomos de los materiales que lo circundan en tiempos inferiores al microsegundo.

Generalmente, al bombardear algún material "blanco" con partículas tales como partículas alfa (α), protones (p), o deuterones (d), se forma un núcleo excitado compuesto, que al desexcitarse puede emitir neutrones. El núcleo residual aún puede permanecer en estado excitado, retornando al estado base mediante la emisión de radiación gamma.

1.2.4. Rayos cósmicos

Son partículas altamente energéticas que bombardean la superficie terrestre y proceden del espacio exterior. Son más intensas a grandes altitudes que a nivel del mar, ya que la atmósfera suministra protección contra este tipo de radiación.

2. FUENTES NATURALES Y ARTIFICIALES DE LAS RADIACIONES IONIZANTES, APLICACIÓN Y MEDICIÓN

El mayor porcentaje de exposición a radiaciones ionizantes por parte de la población, proviene de fuentes naturales, que no pueden ser evitadas; gran parte de estas fuentes naturales están en el aire, en los alimentos, en la corteza terrestre, en el espacio:

- Radiactividad natural: resulta de la inestabilidad intrínseca de una serie de átomos pesados presentes en la naturaleza, como el uranio, el torio, el plutonio, etc., así como la procedente de los rayos cósmicos; a esta última están expuestos los usuarios constantes de aerolíneas.
- Radiactividad incorporada en alimentos, bebidas, etc; especialmente se concentra en crustáceos y moluscos.

- Radón: éste es un gas procedente del uranio, que se encuentra en forma natural en la tierra: Procede de materiales de construcción, abonos fosfatados, componentes de radioemisores, detectores de humo y gas natural en los hogares.

Las radiaciones artificiales se producen por medio de ciertos aparatos inventados por el hombre, tales como los utilizados en radiología y radioterapia, pero son de naturaleza igual a radiaciones naturales. Ejemplos de fuentes artificiales de radiación son los aparatos de rayos X de aplicación médica, industrial o de investigación, y las centrales nucleares de aplicación energética:

- Procedimientos médicos: (radiografías, radioterapias, etc.), constituyen la fuente principal de radiación artificial en la población general.
- Basura nuclear: la constituyen los desechos radiactivos de la industria nuclear, los hospitales y los centros de investigación.
- Exposición profesional: se refiere a la radiación adquirida por las personas que manipulan o trabajan con materiales radiactivos directamente.
- Explosiones nucleares: accidentales, bélicas o experimentales.

2.1. Aplicaciones de las radiaciones ionizantes

Las radiaciones ionizantes tienen aplicaciones muy importantes en la industria, la investigación y la medicina.

En la industria, las radiaciones ionizantes son útiles en la producción de energía, para la esterilización y conservación de alimentos, para esterilización de instrumentos, para conocer la composición interna de muchos materiales, para detectar problemas en su estructura como fracturas o dislocaciones y errores de fabricación o ensamblaje.

En la medicina, la utilización de las radiaciones ionizantes es por lo general benéfica para el ser humano, pues se pueden realizar una serie de procedimientos diagnósticos (medicina nuclear y radiología) y tratamientos (medicina nuclear y radioterapia). También se pueden investigar funciones normales y patológicas en el organismo, especialmente por parte de la medicina nuclear.

2.2. Dosimetría

Los efectos biológicos de la radiación se deben principalmente a la ionización que produce. Existen unidades que se utilizan para medir estos efectos:

- Se define el roentgen (R), como la unidad de exposición en aire correspondiente a la cantidad de radiación electromagnética (X o γ), necesaria para producir una determinada ionización por unidad de aire (0,000 258 Coulomb por kilogramo de aire: C/ kg). Un C/ kg equivale a 3879 R. El roentgen se utiliza sólo para exposición en aire de la radiación electromagnética menor que 2 Mev y no es aplicable a partículas.
- Las exposiciones médicas en radiología se miden, con referencia a un intervalo de tiempo (segundo, minuto, hora, etc.), en miliroentgen/unidad de tiempo: mR/unidad de tiempo, (1 mR = 10^{-3} R).
- El roentgen R ha sido fundamentalmente sustituido por el rad (radiation absorbed dose, o dosis absorbida de radiación) y se define en función de la energía absorbida. Un rad es la cantidad de radiación que deposita 10^{-2} J/kg de energía en cualquier material. La unidad en el sistema internacional de unidades S.I., J/kg, se llama ahora gray (Gy), por lo tanto 1 rad = 10^{-2} Gy. En tejidos blandos 1 rad es aproximadamente igual a 1 R.

El daño biológico no sólo depende de la energía absorbida, que es equivalente a la de-

pendencia con el número de pares formados, sino también de la separación entre los pares de iones; si los pares de iones se encuentran muy cerca, como en el caso de la ionización por partículas alfa, el efecto biológico se ve agravado.

- La unidad rem (roentgen equivalent in man, es decir, equivalente al roentgen en el hombre), es la dosis que tiene el mismo efecto biológico que un rad de radiación β o γ . 1 rem = 1 rad x RBE, en donde el factor RBE (Relative Biological Effectiveness Factor, es decir, factor de efectividad biológica relativa) está tabulado para las partículas α , protones y neutrones de energías diversas. Por ejemplo, RBE vale 1 para los rayos β y γ , aproximadamente 4 o 5 para neutrones lentos, 10 para neutrones rápidos y entre 10 y 20 para partículas α de energías comprendidas entre 5 Mev y 10 Mev.
- La unidad tradicional Curie (Ci) y la internacional, Bequerelio (Bq) se utilizan para medir la radiactividad. El Bq equivale a una desintegración radiactiva por segundo, mientras que el Ci equivale a $3,7 \times 10^{10}$ Bq.

A continuación se muestra una tabla con las diversas unidades de radiación que se han determinado (ver página siguiente).

3. EFECTO DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

3.1. Sobre la materia en general:

Como ya se mencionó, cuando las radiaciones ionizantes interactúan con la materia, le transfieren energía suficiente para arrancar un electrón de su átomo, proceso llamado ionización. En la ionización se forman un par de iones, el negativo: electrón libre, y el positivo: átomo sin uno de sus electrones.

La ionización producida por una radiación incidente que interactúa con la materia puede ser

Tabla 1. Unidades de radiación y dosimetría

Magnitud	Unidad usual		Unidad S.I	
	Nombre	Símbolo	Nombre	Símbolo
Energía	Electrón	eV Volt	Joule	J
Exposición	Roentgen	R	Coulomb por kilogramo	C/kg
Dosis absorbida	rad	rad o rd	gray	Gy = J/kg
Dosis equivalente	rem	rem	rem	rem
Actividad	Curie	Ci	becquerel	Bq = 1/s

Algunas equivalencias:

$$1 \text{ MeV} = 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$$

$$1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ J / kg} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ R} = 2,58 \times 10^{-4} \text{ C / kg}$$

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ desintegraciones / s} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

directa, como la producida por las partículas cargadas que interactúan con el medio reaccionando con moléculas blanco (como el oxígeno y el agua); o puede ser indirecta como la producida por la radiación electromagnética.

3.2. Sobre la materia orgánica:

Cuando las radiaciones ionizantes interactúan con un organismo, se transfiere una cantidad de energía a la materia orgánica, mecanismo que se conoce con el nombre de Transferencia Lineal de Energía (TLE). La TLE es diferente para cada tipo de radiación. Las radiaciones con baja TLE provocan ligera ionización a lo largo de su recorrido, mientras que las radiaciones con alta TLE producen ionización densa a lo largo de su recorrido. Cuanto mayor sea la TLE, mayor será la ionización y por lo tanto mayor será el efecto o daño biológico producido, lo cual puede resultar benéfico en los casos de irradiación de tumores malignos.

La distribución de la energía irradiada a un organismo es la que determina el daño celular y no la cantidad total de energía depositada en él. La energía depositada en el organismo puede producir diversas alteraciones con o sin manifestación clínica.

Dependiendo de la energía depositada, los efectos pueden ser leves, como en el caso de los

procedimientos médicos de diagnóstico, pero también pueden ser letales, como los ocurridos en situaciones bélicas o en accidentes nucleares.

La energía depositada en la materia orgánica depende de factores como: tipo de radiación, cantidad, tiempo de exposición y lugar en el que el organismo la recibe. Las radiaciones que tienen efecto biológico más bajo son las electromagnéticas; en particular la radiación ultravioleta que dista bastante de tener la penetración de las ondas de regiones más elevadas del espectro, puede, luego de exposición aguda y prolongada, dar lugar a lesiones cutáneas en forma de quemaduras, lesiones fotoquímicas celulares acumulativas y cambios degenerativos en las células, que pueden aparecer a largo plazo como alteraciones de la inmunidad de las células de la piel.

Una de las reacciones del organismo como consecuencia de la exposición a radiaciones ionizantes en dosis elevadas es la conocida como reacción de estrés, donde el organismo es capaz de liberar hormonas que demandan una respuesta de adaptación ante la radiación. La respuesta somática de adaptación desencadena elevaciones en los niveles circulantes de ACTH, situación que afecta el metabolismo con repercusión sobre la bomba de potasio y sodio, alterando los potenciales de membrana y los mecanismos de difusión celular, al igual que el funcionamiento del sistema endocrino en particular.

Si el organismo logra adaptarse a una exposición elevada de radiación, se producirán efectos más o menos graves, ya sean permanentes o transitorios; si no lo logra, se producirá la muerte.

Una determinada especie será más sensible a los efectos de las radiaciones mientras mayor evolución exista en la especie (radiosensibilidad); por ejemplo, la especie humana es más radiosensible que una colonia de bacterias o que un grupo de determinados animales.

También, los diferentes tipos de células que conforman nuestro organismo presentan diferentes grados de por ejemplo, los linfocitos y las células de la médula ósea son más radiosensibles, por eso su pérdida ocasiona la presencia de infecciones oportunistas y cuadros severos de hemorragias.

A continuación se presenta una tabla de las dosis y efectos de radiación a corto y largo plazo.

Tabla 2. Los efectos de la radiación

Dosis (rem)	Efectos inmediatos	Efectos a largo plazo	Observaciones
0-50	Sin daños físicos aparentes, alteración cromosomática	Daño genético	Puede causar defectos de nacimiento y más tarde cáncer
50-100	Vómitos menores, tensión baja, ligero cansancio	Lo mismo que en la casilla anterior	Los síntomas aparecen dos horas después y pueden durar un día o más
100-200	Los vómitos son más comunes, pérdida del apetito, garganta dolorida, sed, fiebre y pequeñas diarreas	Los síntomas pueden reaparecer en dos o tres semanas	Menos de 5% de la población morirá a causa de enfermedades provocadas por la radiación.
200-300	Los síntomas anteriores se acentúan, gran cansancio, esterilidad en los dos sexos.	Encías, intestinos y piel sangrando, pérdida del cabello, la destrucción de los glóbulos blancos produce infecciones.	20% de la población morirá en menos de dos semanas.
300-400	Los síntomas más graves ocurren con mayor rapidez, la mayoría de las víctimas necesitan tratamiento clínico	Desórdenes de tipo gastrointestinal, hemorragia renal, pérdida del cabello, leucemia y cáncer de la tiroides.	Muerte por deshidratación y hambre, hasta siete días de estadía en el hospital.
400-500	Todos los síntomas empeoran, todas las víctimas necesitan tratamiento clínico.	Quemaduras en la piel y cáncer de piel, hemorragia interna generalizada, úlceras gástricas, enfermedades hepáticas y del pulmón.	Mortalidad de 50%, muerte en un mes, estancia en el hospital de 10 días
500-1000	Generalmente mortal, enfermedad grave, los vómitos se mantienen durante varios días, fuertes calambres y diarrea con sangre	Esterilidad permanente y pérdida del cabello, cataratas, fuertes úlceras, desórdenes nerviosos y neumonía.	Mortalidad de 100% sin un tratamiento clínico intenso, agonía prolongada, muerte en dos semanas.
Más de 1000	La víctima sufrirá espasmos y convulsiones, muriendo en 1 ó 2 días	Ninguno	Virtualmente todos muertos, en coma en unas pocas horas.

4. RESUMEN Y RECOMENDACIONES

Los organismos vivientes han estado y seguirán estando sometidos a la influencia de las radiaciones ionizantes, provenientes de fuentes naturales sin que se presenten daños graves aparentes. Sin embargo, hay muchas situaciones de riesgo, especialmente con fuentes artificiales, que en lo posible se deben evitar o al menos se deben tomar precauciones para minimizar los efectos nocivos que pudieran presentarse.

El tema tratado es tan complejo, extenso y compete a tantas ramas de la ciencia, que para poder dar todas las recomendaciones sobre manejo, control y seguridad frente a las radiaciones, se tendría que profundizar en muchos aspectos, especialmente en los que involucran a la biología y a la medicina, que no son los campos de acción de los autores, sin embargo, se presentan algunas recomendaciones y sugerencias, que pueden ayudar a los lectores a minimizar los riesgos de exposición a las radiaciones:

- Evite la sobreexposición a la radiación solar, pues podrían presentarse quemaduras y eventualmente, cáncer de piel.
- Sugiera a su médico u odontólogo que le ordene radiografías sólo en casos absolutamente necesarios.
- Exija a las autoridades de salud y sanitarias, la reglamentación y control de los servicios radiológicos.
- No transite por zonas restringidas sin la debida autorización y protección.

- Si es un funcionario laboralmente expuesto, atienda a las recomendaciones institucionales.
- No transporte material radiactivo sin el debido control y protección.
- Se deben cumplir las normas técnicas de construcción y control ambiental sobre instituciones y equipos que expongan a la población a radiaciones ionizantes.
- Exija control en el manejo, almacenamiento y evacuación de desechos radiactivos, producto de los hospitales y centros de tratamiento.
- Mantenga ventilados las casas y apartamentos que utilicen gas natural, con el fin de evitar acumulación de radón.
- Propenda por el cumplimiento a nivel mundial, de los tratados de no proliferación de armas nucleares.

BIBLIOGRAFÍA

- TANARRO SANZ, Agustín. Instrumentación nuclear, servicio de publicaciones de la J.E.N. Madrid, 1970.
- SERWAY, Raymond. Física, vol 2. 4 edición. Editorial Mc Graw Hill. Bogotá 1997.
- ERIKSON, Jon. Un mundo en desequilibrio, la contaminación del planeta. Editorial, Mc Graw Hill. Madrid, 1993.
- SEARS/Zemansky/Young/Freedman. Física universitaria. Vol 2. Addison Wesley. México, 1999.
- TRAVESI, Antonio. Análisis por activación neutrónica. Publicaciones de la J.E.N. 1975.
- <http://www.ininet.edu/tratado/c0901s2.htm>
- <http://www.totromedico.com/temas/radiaciones-ionizantes.htm>