ISSN 0001-6002 /99/41/2/16-23
Acta Médica Costarricense, ©1999
Colegio de Médicos y Cirujanos

La radiación en la vida cotidiana

Patricia Mora Rodríguez*

Resumen: La comunidad médica nacional utiliza en su quehacer diario los beneficios de las radiaciones ionizantes para el diagnóstico y terapia de las enfermedades. Las dosis recibidas en el área médica son apenas una pequeña parte del total de radiación que recibimos durante el año. La presente revisión bibliográfica tiene varios objetivos, presentar los diferentes componentes que conforman las radiaciones naturales; introducir los productos de consumo humano que contienen fuentes radiactivas y que por lo tanto están exponiendo a nuestros cuerpos. Presentar argumentos para disminuir la tan común fobia a las radiaciones ionizantes y finalmente, introducir una magnitud dosimétrica de fácil entendimiento tanto para el médico, el técnico y el paciente.

Descriptores: *radiación, dosis, radiación natural, uranio, BERT.*

Diariamente el hombre se ve rodeado de radiaciones ionizantes que provienen de la naturaleza, éstas se conocen como radiación natural de fondo. Estas radiaciones existen desde el comienzo de los tiempos y nuestros organismos están acostumbrados a su presencia. Las radiaciones naturales se dividen en radiaciones externas e internas al cuerpo. Dentro de las radiaciones externas tenemos dos componentes dependiendo de su origen: las radiaciones cósmicas y las radiaciones terrestres. Respecto a las radiaciones internas, éstas se agrupan según su modo de entrada a nuestro organismo, ya sea por procesos de inhalación o por ingestión. Un promedio mundial de la dosis efectiva debido a la radiación natural es de 2.4 mSv/año. Existen muchos productos de consumo que contienen fuentes radiactivas de los cuales no tenemos conocimiento, por ejemplo, las carátulas de los relojes, los detectores de humo, las lámparas fluorescentes, etc. Estos productos contribuyen en un porcentaje muy pequeño a la dosis total. Al hablar de las radiaciones ionizantes, generalmente los efectos nocivos asociados a ellas cobran importancia. Recientes estudios científicos, indican la probabilidad de que estemos sobrepesando el daño de las radiaciones ionizantes. Debido a que las magnitudes dosimétricas utilizadas para medir y cuantificar las dosis de radiación son extrañas a la comunidad médica y al público en general, se propone el uso de una unidad cualitativa de fácil entendimiento, este se presenta mediante el concepto del BERT (Background Equivalent Radiation Time).

Abreviaturas: BERT: tiempo equivalente radiación natural de fondo. Bq: bequelerio, mSv: milisiviert, mR: miliroentgen, Gy: gray.

* Correspondencia: Laboratorio de Física Nuclear Aplicada, Escuela de Física, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Centroamérica.

Radiación natural

Cuando hablamos de las radiaciones ionizantes, aquellas que tienen la capacidad de ionizar los átomos de la materia,[1-4] generalmente pensamos en que éstas son nocivas a nuestro organismo y que fueron creadas por el hombre. Esta es una idea errónea que una gran parte de la población maneja debido a la falta de información clara y concisa en el tema.[5,6] Debemos conocer que todo en la tierra es radiactivo, ésto es, emite radiaciones en la forma de partículas alfa y beta o en forma de radiación electromagnética que llamamos radiación gamma. Constantemente somos bombardeados por radiación que proviene del espacio exterior, lo que nos rodea contiene materiales radiactivos y aun dentro de nuestro cuerpo tenemos medio millón de desintegraciones por minuto que bombardean las células de nuestro organismo. La radiación natural de fondo ha estado con nosotros desde el comienzo de los tiempos y hemos aprendido a convivir con ella.[7]

El hombre fue capaz de producir por primera vez artificialmente radiaciones ionizantes con el descubrimiento de los rayos X por el científico alemán Wilhem Conrad Röentgen en 1895.[8] Las radiaciones ionizantes artificiales y naturales han encontrado grandes aplicaciones en nuestra vida diaria, pues ellas se utilizan en la industria, la medicina y la investigación. Pero aún así, son las radiaciones naturales las que contribuyen en mayor porcentaje a la dosis global que recibe la población.[9]

La cantidad de la radiación natural que recibimos depende de muchos factores: el lugar de residencia, la composición del suelo, los materiales de construcción que nos rodean, la estación del año, la latitud y hasta las condiciones del tiempo. Por ejemplo, la lluvia, nieve, presión alta o baja y dirección del

viento afectan los niveles de radiación natural a que nos vemos expuestos.[7,10]

En el estudio de las radiaciones naturales, éstas se dividen en fuentes externas al cuerpo humano y fuentes internas al cuerpo.[11,12] Estudiemos a cada una por separado.

Fuentes externas al cuerpo: dentro de esta categoría tenemos a las fuentes radiactivas de origen cósmico y de origen terrestre. La tierra es continuamente bombardeada por partículas de alta energía que se originan en el espacio exterior. Estos rayos cósmicos interactúan con los núcleos de los elementos que se encuentran en la atmósfera produciendo una cascada de interacciones y productos secundarios de estas reacciones. Las interacciones de los rayos cósmicos producen núcleos radiactivos que se conocen como radionucleídos cosmogénicos.

Los radionucleídos cosmogénicos contribuyen en un porcentaje pequeño del total de la radiación natural. Los más importantes son: el tritio-3 cuyo período físico es e 12.3 años, el berilio-7 con un período físico de 53.6 años, el carbono-14 con un período físico de 5730 años y el sodio-22 con un período de 2.6 años.[11,13-15]

La radiación cósmica varía considerablemente con la altura debido a que la atmósfera actúa como una barrera protectora y a la latitud. Por lo tanto, a mayor altura recibimos una mayor dosis. En el Cuadro 1 se presentan algunos valores de dosis efectivas para diferentes lugares.[10] Las dosis que resulta del componente cósmico podría aumentar ligeramente, si por ejemplo somos viajeros frecuentes en vuelos comerciales, o formamos parte de la tripulación de compañías aéreas. El componente ionizante de las radiaciones cósmicas, produce en promedio una dosis efectiva de 32 $nSvh^{-1}$ a nivel del mar en altitudes medias.[11]

Los radionucleídos naturales de origen terrestre, a los cuales también se le conoce como radionucleídos primordiales, están presentes en nuestro medio ambiente. Sólo aquellos radionucleídos con períodos físicos comparables con la edad de la tierra y sus descendientes existen en cantidades significativas en nuestros suelos hoy en día.

Cuadro 1
Valores de dosis efectiva para ciertos lugares con diferentes alturas

Lugar	Altura (km.)	Dosis efectiva en mSv/año
New York	Nivel del mar	0.30
Denver Colorado	1.6	0.50
Johannesburg, Sur Africa	1.8	0.60
México D.F.	2.3	0.75
Quito, Ecuador	2.85	1.00
La Paz, Bolivia	3.65	1.80

Fuente: Hendee W. and Edwards F.[10]

El *componente terrestre* de las radiaciones naturales se debe a la presencia de las cadenas radiactivas del uranio y del torio que se encuentran en los materiales de la corteza terrestre.[10,16] Tanto el uranio como el torio dan lugar a una serie de hijas radiactivas que van decayendo con el tiempo y que al hacerlo emiten radiaciones ionizantes para lograr llegar a una estabilidad nuclear en el plomo (que no es radiactivo).

La localización es un factor importante en la cantidad de dosis que recibimos del componente terrestre. Los suelos arenosos presentan menos radiación que los sedimentarios, y éstos a su vez menos que los que contienen granito.[11,15]

Durante los años 1991 y 1992, el laboratorio de Física Nuclear Aplicada, de la Universidad de Costa Rica, utilizando la tecnología de espectrometría gamma[17] realizó un monitoreo del suelo costarricense para determinar la presencia de radionucleídos de la cadena del torio y uranio, así como del potasio-40. El valor promedio nacional para el U238 es de 45.9 Bq kg^{-1}, para el Th^{232} es de 11.2 Bq kg^{-1} y para el K40 de 139.0 Bq kg^{-1}.[18,19] Estos valores están acordes con los valores reportados mundialmente.[11]

La presencia de estos radionucleídos Bq kg^{-1} en el suelo, conlleva a tasas de dosis en aire medidas a 1 metro de altura. UNSCEAR[11] recopila el rango de 10–200 $nGyhr^{-1}$ como el rango típico de valores mundiales. El Laboratorio de Física Nuclear Aplicada de la UCR, utilizando cristales termoluminiscentes TLD-200, ha encontrado un promedio nacional de 106 nGyhr-1 y un rango que oscila desde 19.6 $nGyhr^{-1}$ hasta 204.7 $nGyhr^{-1}$.[20]

En el mundo se han reportado lugares donde los niveles de radiactividad natural son muy elevados debido a las grandes cantidades de torio y uranio que contienen sus suelos. Ramsar,[21] en el Mar Carpio en Irán, tiene una dosis de hasta 30000 $nGyhr^{-1}$ debido a que su agua contiene $Ra2^{26}$, Mineas Gerais y Goias en Brazil,[22] Kerela en India,[23] el delta del Nilo, Egipto,[24] Tesisiu en Suiza,[25] y la ciudad de Orvieto en Italia[26] son algunos lugares reconocidos por sus altas tasas de dosis ambientales.

Fuentes internas al cuerpo: dentro de esta categoría tenemos a las fuentes radiactivas que ingresan a nuestro cuerpo por vía de la ingestión y de la inhalación.[11]

Los alimentos que ingerimos contienen materiales radiactivos. Los dos radionucleídos que ingerimos de más importancia son el potasio-40 y el radio-226.

La principal fuente de potasio-40 se obtiene de los bananos y la leche que consumimos. Se han reportado dosis[10] de 0.15 - 0.19 mSv/año debido al K^{40} en bananos. Mediciones por medio de espectrometría gamma de los bananos costarricenses de exportación, indican valores promedio del orden de 107 Bq kg^{-1},[27] para el potasio 40. Este radionucleído también se ha estudiado en los filetes de atún de exportación con valores que oscilan desde 265.0 a 11.9 Bq kg^{-1}.[28] Aunque quisiéramos disminuir el nivel de potasio en nuestros cuerpos hemos de recordar que el potasio se

encuentra en equilibrio homeostático y que éste es esencial para el buen funcionamiento de nuestro cuerpo.

El radio-226 presente en los alimentos no es esencial para nuestro cuerpo y su incorporación dependerá de lo que comamos. La principal contribución a nuestra dieta del radio la encontramos en el agua que bebemos de pozos. Ciertos lugares de Estados Unidos (Illinois y Nueva Inglaterra)[10] tienen pozos de agua con elevadas concentraciones de radio. En muchos países se mantienen programas de monitoreo de aguas para garantizar que los niveles de radiactividad cumplen con los requerimientos de la OMS.[29]

La mayor fuente de exposición de la radiación debido a la inhalación de fuentes de radiación natural se debe al radón y a sus descendientes. El radón es un gas radiactivo inoloro, incoloro y químicamente no-reactivo, es un producto de las cadenas de desintegración tanto del uranio y del torio. De la dosis anual total que recibimos debido a fuentes naturales, el radón es el principal contribuyente.[30] La dosis promedio anual a la región del epitelio bronquial es de aproximadamente 25 mSv.[11]

Por ser un gas, se difunde rápidamente desde su lugar de origen. La concentración de radón que encontremos dependerá de la porosidad del suelo, la concentración local de radio-226, la temperatura y la presión atmosférica.[15] Su concentración al aire libre es baja, pero llega a acumularse en lugares cerrados. Es por esto último, que las altas concentraciones de radón en recintos habitacionales encontrados alrededor del mundo han llevado a crear programas nacionales de monitoreo[31,32] y a autoridades internacionales a pronunciarse sobre los niveles máximos permitidos[33] y sus posibles efectos sobre la salud.[34]

Cuadro 2
Dosis efectivas debidas a radiación natural

Fuente	Dosis efectiva mSv/año
Radiación Cósmica	0.38
Radiación Terrestre	0.46
Radón y sus descendientes	1.28
Radionucleídos depositados internamente	0.23
Total	2.40

Fuente: United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Low Level Radiation.[11]

UNSCEAR recopila como promedio mundial un valor de 42 Bq m^{-3} para radón en recintos habitacionales. Estudios realizados en Costa Rica, revelan que oscilan desde 14 hasta 200 Bq m^{-3}.[35]

El Cuadro 2 muestra un resumen de las dosis efectivas estimadas debido a los diferentes componentes de la radiación natural.[3] Del total de radiación que recibe el hombre, un 82% proviene de fuentes naturales (cósmicas, externas e internas) mientras que el restante 18% proviene de las aplicaciones de las radiaciones a la vida diaria.[15,30]

El 18% de radiación no-natural, se divide de la siguiente manera: aplicaciones médicas donde se utilizan las radiaciones ionizantes como por ejemplo en radiodiagnóstico, medicina nuclear y radioterapia (83%) y los productos de consumo humano que contienen materiales radiactivos (17%). En la Figura 1,[15] se muestran todas las contribuciones a la radiación total anual. En el rubro denominado otros con un 1%, se incluyen: exposiciones ocupacionales, lluvia radiactiva e industria nuclear.

Productos de consumo que contienen radiación

Durante las últimas décadas se ha aumentado tremendamente la cantidad de productos comerciales al público. Muchos de ellos contienen materiales innovadores, cuyas propiedades son desconocidas por los consumidores. Un ejemplo, son aquellos que emiten radiaciones ionizantes. Generalmente desconocemos de la gran cantidad de productos de consumo que utilizamos diariamente que contiene materiales radiactivos.[36] Estos los podríamos agrupar dependiendo del lugar en donde los usemos, por ejemplo, en el hogar, trabajo, productos de uso personal y en el medio ambiente.

Dentro de nuestros hogares, recordemos que los materiales de construcción de nuestras casas y edificios tienen elementos radiactivos, estos pertenecen a las cadenas de uranio y torio. Los sistemas de calefacción y cocinas que trabajan con gas natural liberan al ambiente el gas radón y sus descendientes.[11,15] Si el agua potable que utilizamos en nuestras casas proviene de pozos subterráneos, la cantidad de radio presente en el agua aumenta. Las pantallas de los televisores producen rayos X debido a los tubos de rayos catódicos que contienen en su interior, al igual que las terminales de video de las computadoras personales. Debido a la gran cantidad de usuarios de los aparatos televisivos se han publicado reglamentaciones sobre los límites máximos.[36] Estos límites son de 0.5 $mRhr^{-1}$ a 5 cm de la pantalla. Encontramos en nuestros hogares, detectores de humo que contienen Americio-241 y los arrancadores de los tubos fluorescentes contienen Th-232 ó Kr-85.

Muchos productos que utilizamos para el uso personal tienen materiales radiactivos. Las carátulas de algunos relojes fosforescentes eran pintadas con radio,[10] ahora se utiliza el tritio o el prometio, pues las dosis recibidas eran bastante altas

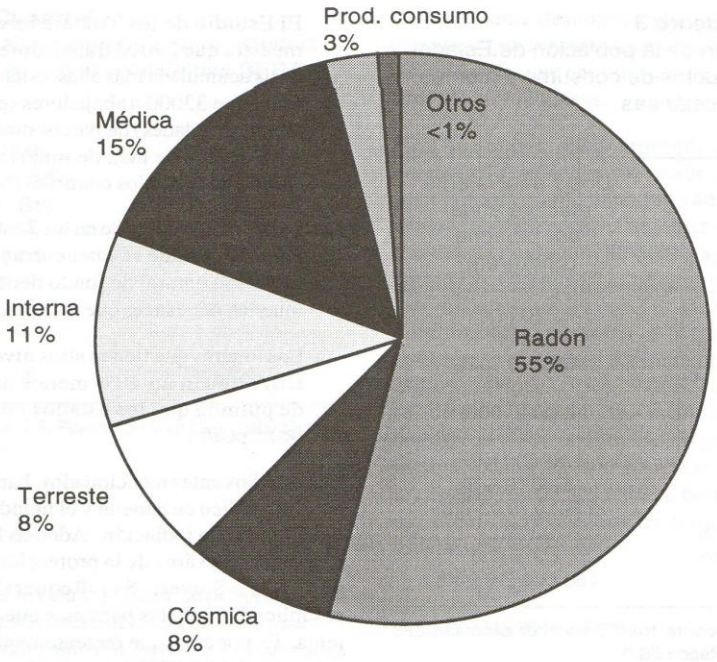

Figura 1. Porcentaje de contribución de diferentes fuentes de radiación al hombre Fuente: Mettler F. and Upton A.[15]

Algunos vidrios con los que se fabricaban anteojos o productos ópticos contenían uranio y torio, sin embargo desde 1975 existe normativa para reducir la cantidad de radiactividad en ellos. En el pasado, los fabricantes ponían sales de uranio a los dientes postizos para darles un color natural y un brillo similar a los verdaderos; ahora se utilizan más los acrílicos.[36] Algunas joyas tipo "cloisonné" contenían uranio para dar un brillo especial. Las linternas de gas que se utilizan para acampar contienen óxido de torio.[15]

En nuestros trabajos, las terminales de video aportan dosis muy pequeñas (<0.01 mSv/año).[15] Los eliminadores estáticos usados en fotocopiadoras y aparatos de imprenta contienen polonio-210.[10] En la industria se utilizan en gran manera los medidores de grosor que contienen material radiactivo, éstos se utilizan en los procedimientos rutinarios de control de calidad. Existen soldaduras con puntas de tungsteno que tienen un arranque más fácil y contaminan menos el metal. Los monitores portátiles de radiación, generalmente contienen una fuente radiactiva (Sr-90, Kr-85 ó U-238) muy pequeña para comprobar el correcto funcionamiento del instrumento. En los centros de investiga-ción, los microscopios electrónicos entregan dosis muy pequeñas a un número reducido de la población.[36]

Respecto al punto de vista del medio ambiente, el uso tan grande de fertilizantes órgano - fosforados aumenta las dosis pues el fósforo en su forma natural viene acompañado de uranio y torio.[11] En los procesos de obtención de energía eléctrica por medio de la combustión de hidrocarburos (carbón, aceite ó gas) se liberan al medio ambiente materiales radiactivos.[10,11]

La inspección de equipaje aéreo por medio de máquinas fluoroscópicas de rayos X es cada vez más utilizada, la cantidad de radiación que recibe el pasajero es casi negligible (alrededor de 1% de la radiación recibida en un vuelo transcontinental).[15] Los radiofármacos que se utilizan en medicina nuclear, deben ser transportados por vía aérea, esto debido a sus periodos de vida tan cortos, exponiendo a los pasajeros, tripulantes y al personal de los aeropuertos.

Es importante recalcar, que de todos los productos de consumo humano, el que produce mayor dosis de radiación es el tabaco,[36] debido a la radiación entregada por los radionucleídos plomo-210 y polonio-210 en el epitelio bronquial.

En el Cuadro 3,[36] se presenta un resumen de las principales fuentes de consumo humano que entregan una dosis a nuestros organismos. Es importante recalcar que del total de la dosis que recibe el hombre, los productos de consumo solo representan un 3% del total.

Cuadro 3

Exposición a la radiación de la población de Estados Unidos, debido a productos de consumo y fuentes misceláneas

Fuente		Dosis equivalente efectiva anual por persona uSv(mrem)
Televisión		10 (1)
Terminales de video		10 (1)
Rayos X en equipaje aéreo		0.02 (0.002)
Relojes		1 (0.1)
Detectores de humo		0.08 (0.008)
Materiales de construcción		70 (7)
Agua doméstica		10-60 (1-6)
Fertilizantes		5-50 (0.5-5)
Combustibles:	Carbón	0.3-3.0 (0.03-0.3)
	Gas Natural	22 (2.2)
	Gas propano	1.3 (0.13)
Productos del Tabaco		160 000 (16 000)

Fuente: NCRP Radiation exposure from consumer products and miscellaneous sources NCRP Report 56.[36]

Radiaciones de bajo nivel y nuestra salud

Actualmente existe en la comunidad científica un gran debate sobre los efectos benéficos o nocivos de las radiaciones ionizantes a bajos niveles de dosis.[37-43] ¿Por qué surge tal controversia?

En 1990, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP),[44] saca a la luz pública su publicación No. 60 en donde afirma el carácter estocástico o sea probabilístico de las radiaciones, adoptando el modelo lineal sin umbral para los efectos biológicos de las radiaciones.[39,43] En palabras más sencillas, esto quiere decir, que una cantidad muy pequeña de radiación tiene un riesgo muy pequeño de producir un efecto nocivo, por ejemplo un cáncer. Este modelo es el que ha sido adoptado mundialmente por todos los órganos reguladores en materia de protección radiológica. Es un modelo muy conservador y costoso, el cual tiende a sobre proteger a los trabajadores que utilizan radiaciones ionizantes.

Sin embargo, recientemente han surgido estudios científicos[15,45] que demuestran cómo las bajas dosis de radiación tienen efectos beneficiosos para la salud. Este fenómeno se llama *hormesis por radiación*. La hormesis es el beneficio en la salud debido a cantidades pequeñas de sustancias tóxicas. Los principales estudios son:

- Los sobrevivientes japoneses de la bomba-A (aún de los 400 casos de muerte por cáncer inducido) están viviendo más tiempo en promedio que poblaciones controles.[11,15,46]
- El Estudio de los Trabajadores de Barcos Nucleares[47] muestra que 29000 trabajadores de barcos nucleares con dosis acumulada más altas, están en mejores condiciones de salud que 33000 trabajadores (para los mismos trabajos y rangos de edades) de barcos no-nucleares. Se encontró un 24% menos de tasa de muerte para todos los cánceres comparados con los controles.
- La población que vive en los 7 estados de Estados Unidos de América donde se encuentran los más altos niveles de radiación natural de fondo tienen cerca de 15% menos de muertes por cáncer que el promedio de EUA.[48]
- Los lugares que tienen altos niveles de radón (>5 pCi/l) en EUA tienen un 40% menos de mortalidad por cáncer de pulmón que los estados con niveles bajos de radón (<0.5 pCi/l).[49]

Los estudios antes mencionados, han tenido muy poca difusión entre el público en general y el mundo sigue viviendo una fobia innecesaria a la radiación. Además las magnitudes y unidades utilizadas en el área de la protección radiológica, por ejemplo Gray (Gy), Sievert (Sv), Bequerelio (Bq) y otros son muy complicadas para las personas que no son especialistas en el tema. Es por esto, que recientemente se está introduciendo el concepto del BERT[50,51] para explicar al público los niveles de radiación a que nos vemos expuestos.

La idea detrás del concepto del BERT es convertir la dosis efectiva debido a una exposición en un tiempo dado (días, semanas, meses o años) para obtener la misma dosis efectiva debido a la radiación natural de fondo. Se acuerda tomar como dato de referencia una dosis efectiva de radiación natural de 3 mSv/año, aunque esta varíe un poco de país a país.

El BERT presenta las siguientes ventajas:

a. no implica ningún riesgo, es solo una comparación

b. enfatiza el hecho que la radiación es natural

c. la respuesta es entendible por el público

Utilizando este concepto es muy sencillo explicarle a un paciente del Departamento de Rayos X cuál es la dosis que recibe al practicarse un examen en particular. Por ejemplo, si a una señora le realizan una mamografía y pregunta ¿cuál es la dosis que recibió? le contestarán: "la mamografía probablemente le dará una dosis efectiva de cerca de 1 mSv." Mientras que con ayuda del BERT le responderán "la dosis que recibió equivale a 4 meses de radiación natural". El Cuadro 4, presenta algunas dosis efectivas equivalentes y sus correspondientes valores de BERT para algunos estudios de radiodiagnóstico reportados en Estados Unidos en 1980.[52]

Cuadro 4
Dosis efectivas equivalentes en mSv para estudios radiodiagnósticos y sus correspondientes BERT

Tipo de examen	Dosis Promedio (mSv)	BERT
Dental (intra-oral)	0.06	1 semana
Tórax	0.08	10 días
Columna torácica	1.5	6 meses
Columna lumbar	3	1 año
Series gastro intestinales superiores	4.5	1.5 años

Fuente: NCRP. Exposure of the U.S. Population from Diagnostic Medical Radiation. NCRP Report 100.[52]

Conclusiones

Los médicos además de su invaluable labor de diagnosticar y tratar las enfermedades de sus pacientes, son muchas veces el medio por el cual se canalizan y diluyen las dudas e inquietudes de los pacientes respecto al origen y posibles daños que las radiaciones ionizantes pudieran tener sobre sus cuerpos.

Aquellos médicos y personal de apoyo que diariamente utilizan materiales radiactivos o bien equipos generadores de radiaciones ionizantes, tienen un conocimiento más amplio de las bases de la física radiológica, que dominan los procesos que ellos utilizan, que aquellos profesionales que no se ven involucrados con ellas. Estos conocimientos se adquieren durante el transcurso de su formación académica, pero más recientemente, con la publicación del "Reglamento sobre protección contra las radiaciones ionizantes",[53] todo usuario que maneje equipos generadores o bien fuentes radiactivas debe llevar cursos básicos de protección radiológica donde sus conocimientos deben refrescarse a la luz de los nuevos avances científicos y recientes publicaciones por autoridades competentes en la materia. Un porcentaje alto de los usuarios nacionales ya cumple este requisito.

Esta revisión bibliográfica pretende concientizar a los profesionales que la radiación ionizante se encuentra presente en todo lo que nos rodea, que no podemos disminuir las dosis anuales que recibimos y que nuestro cuerpo está acostumbrado a su presencia desde el comienzo de los tiempos y que contrariamente a lo que a veces creemos; el mayor porcentaje de nuestra dosis total anual proviene de la naturaleza y no de las pruebas de armamento bélico, plantas nucleares o accidentes radiactivos.

Debemos recordar que las aplicaciones pacíficas de las radiaciones ionizantes han contribuido enormemente a mejorar nuestra calidad de vida, debido a sus aplicaciones en los campos de la medicina, la industria y la investigación.

Generalmente desconocemos la gran cantidad de bienes de consumo que usamos diariamente que contienen materiales radiactivos y que seguiremos usando para facilitar nuestras actividades cotidianas.

Para que el público comprenda de una manera más fácil la cantidad de radiación que recibe en el área médica, el uso del BERT se está promoviendo en varios países. Está unidad es una unidad cualitativa, con el único fin de presentar a las radiaciones ionizantes como uno de tantos agentes presentes en nuestro ambiente. Es de fácil entendimiento y por lo tanto su uso se recomienda entre la comunidad médica. El BERT no pretende minimizar la importancia de los procedimientos de protección radiológica que deben ser implementados en toda práctica que utilice radiaciones ionizantes. Las autoridades reguladoras seguirán utilizando los modelos lineales de los efectos biológicos vs. dosis de radiación propuestos por los organismos internacionales. De esta manera se protege más rigurosamente a los usuarios de las radiaciones, hasta que las controversias sobre los efectos biológicos de bajas dosis se resuelvan para satisfacción de todos.

Agradecimientos

A mi padre, el Dr. Eric Mora Morales, quien siempre me ha motivado para contribuir en la divulgación de temas científicos relacionados con las radiaciones, la física médica y la protección radiológica en nuestro país. A Merlyn Juárez, por su apoyo editorial.

Abstract

The medical community benefits on a daily basis from the ionizing radiations used in the diagnosis and treatment of disease. The doses received in the medical field are only a small fraction of the total radiation received in a year. This bibliographic review has several objectives. The first one is to present the different components of natural radiation (background radiation). Secondly, it will introduce many consumer products that contain radioactive sources and expose our bodies. Third, arguments to diminish the radiation phobia will be presented and finally an easy to understand dosimetric magnitude will be introduced for the physician, the technologist and the patient.

Referencias

1. Evans R. The Atomic Nucleus. United States of America: Mc Graw-Hill, 1995.
2. Roy R.R., Nigan B.P. Nuclear Physics. Theory and Experiment. United States of America: John Wiley and Sons, Inc. 1967.

3. Cohen B. Concepts of Nuclear Physics, United States of America: Mc Graw -Hill, 1971.
4. Tschurlovits M. What is "ionizing radiation"? (IAEA – CN – 67/153). En: IAEA-TECDOC-976 Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control. Vienna: IAEA, 1997: 483-486.
5. Wahlstrom B. Radiation in everyday language. Finland: Loviisa, 1995.
6. Skelder B. W. The danger from low level radiation: a public and professional misperception? En Radiation Protection: Theory and Practice 4th Int. Symp. of the Society for Radiological Protection. England: IOP Publishing Ltd., 1989: 469-472.
7. Hall E. Radiation and life. USA: Pergmon Press, 1976.
8. Trevor E. Something about x-rays for everybody. USA: Medical Physics Publishing, 1989.
9. Kathren R. L. Radiation protection, Medical Physics Handbooks 16. Great Britain: J. W. Arrowsmith Ltd., 1985.
10. Hendee W. and Edwards F. Health effects of exposure to low level ionizing radiation. United State of America: Institute of Physics Publishing, 1996.
11. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Low Level Radiation. New York: United Nations Publications, 1993.
12. Gongora E. ¿Qué son los reactores nucleares? La energía nuclear y el dilema energético de la sociedad actual. San José: UNED, 1989.
13. NCRP, Carbon-14 in the environment. NCRP Report 18. National Council on Radiation Protection and Measurements. Washington: 1985.
14. NCRP, Tritium in the environment. NCRP Report 62. National Council on Radiation Protection and Measurements. Washington: 1979.
15. Mettler F. and Upton A. Medical Effects of Ionizing Radiation. Philadelphia: W.B. Sander Company, 1995.
16. IAEA. The International Chernobyl Project: Technical Report. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1991.
17. IAEA. Measurement of radionucleides in food and the environment, Technical Report 295, Vienna: International Atomic Energy Agency, 1989.
18. Mora P. and Salazar A. Natural radioactivity in soil samples in Costa Rica. Journal of Trace and Microprobe Techniques, 1996; 14(4): 727-738.
19. Mora P. y Salazar A. Niveles de radiactividad en tres regiones de Costa Rica. Ciencia y Tecnología, 1995; 19(1,2): 79-95.
20. Mora P. Reporte interno para la Vicerrectoría de Investigación. Proyecto: Radionucleídos en la Atmósfera e Hidrosfera de Costa Rica, Segundo Semestre, 1998.
21. Sohrabi M. High level natural radiation areas with special regard to Ramsar. En: Proceedings of the Second Workshop on Radon Monitoring in Radioprotection, Environmental and/or Earth Sciences. Italy: World Scientific Publishing Co, 1991: 98-108.
22. Pfeiffer W. C., Penna-Franca E., Costa Ribeiro C., et al. Measurements of environmental radiation exposure dose rates at selected sites in Brazil. An Acad Bras Cienc. 1981; 51: 683-691.
23. Sunta C. M. A review of the studies of high background areas of the SW coast of India. En: Proceedings of the International Conference on High Levels of Natural Radiation Ramsar 1990. Vienna: IAEA, 1993:241-249.
24. El–Khatib A. M. and El–Khier A. Regional study of black sands radioactivity. Isotopen Praxis, 1988; 24: 333-336.
25. Swiss Federal Office of Public Health. Environmental radioactivity and radiation exposure in Switzerland. Bern, 1997.
26. Campos G., Grisanti A., Grisanti G. et al. An indoor radon study to test methodology for a national survey. Radiat Prot Dosim, 1988; 24 (1/4):379-382.
27. Loría G., Mora P. y Badilla M. K40 y Cs137 en banano exportado por Costa Rica. Ciencia y tecnología: en prensa.
28. Mora P. and Loría G. Radioactive assessment of fish products marketed by Costa Rica. Journal Trace and Microprobe Techniques, 1997; 15(3): 307-310.
29. Newstread S. and Mc. Hugh J.O. Radioactivity in public water supplies in England and Wales. En: Radiation Protection: Theory and Practice 4th Int. Symp. of the Society for Radiological Protection England: IOP Publishing Ltd., 1989: 309-312.
30. NCRP (1987b). Exposure of the population in the United States and Canada from natural background radiation. NCRP Report 94. USA: National Council on Radiation Protection, 1987.
31. Quindós Poucela L. S., Fernández Navarro P. L., et al. Niveles de radón en casas y puestos de trabajo en una región uranífera de España (IAEA-CN-67/172). En: IAEA-TECDOC-976 Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control. Vienna: IAEA, 1997: 556-559.
32. Miles J.C.H., Cliff K.D., Dixon D.W., Green B.M.R. and Strong J.C. Radon surveys and their implications. En: Radiation Protection: Theory and Practice 4th Int. Symp. of the Society for Radiological Protection England: IOP Publishing Ltd., 1989: 289-292.
33. NCRP, Control of radon in houses. NCRP Report 103. USA: National Council on Radiation Protection, 1989.
34. Jacobi W. Risk estimates for lung cancer from inhaled radon daughters. En: Radiation Protection: Theory and Practice 4th Int. Symp. of the Society for Radiological Protection England: IOP Publishing Ltd., 1989: 283-288.
35. Loría L. y Jiménez R. Medida de la concentración de radón en casas de habitación de Costa Rica, utilizando detectores pasivos de estado sólido LR115 y Cr-39. Ciencia y Tecnología, 1993; 17(2): 89-104.
36. NCRP Radiation exposure from consumer products and miscellaneous sources NCRP Report 56. USA: National Council on Radiation Protection and Measurements, 1977.
37. Cameron J.R. Argument against the motion that LNT model is appropriate for the estimation of risk from low-level (less than 100 mSv/year) radiation. Medical Physics, 1998; 25(3):276.
38. Cohen B. Argument against the motion that low levels of radon in homes should be considered handful. Medical Physics, 1998; 25(3):277-278.

39. Mossman K. The linear no-threshold debate: where do we go from here? Medical Physics, 1998; 25(3): 285-290.

40. Sinclair W. The lineear no-threshold response: Why not linearrity? Medical Physics, 1998; 25(3): 285-290.

41. Kesavan P.C. En: IAEA-TECDOC-976 Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control. Vienna: IAEA, 1997; 86-89.

42. Gentner N.E. and Osborne R.V. Risk to health from radiation at low doses rates (IAEA-CN-67/204). En: IAEA-TECDOC-976 Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control. Vienna: IAEA, 1997; 683-686.

43. AAPM. Aprimer on low level ionizing radiation and its biological effects. AAPM Report 18. New York: American Association of Physicists in Medicine, 1986.

44. ICRP. 1990 Recommendations of the ICRP Publicaton 60. International Commission on Radiological Protection. London: Pergamon Press,1991.

45. NCRP. Evidence on radiation hormesis. NCRP Report 104. USA: National Council on Radiation Protection, 1990.

46. Okumura Y. And Mine M. Effects of low doses of A-bomb radiation on human lifespan (IAEA-CN-67/129). En: IAEA-TECDOC-976 Low doses of ionizing radiation: biological effects and regulatory control. Vienna: IAEA, 1997; 414-416.

47. Matonoski G.M. Health effects of low level radiation in shipyard workers. Final Report. Baltimore:DOE-DE-AC02-79, 1991.

48. Frenlin J.H. Power production: What are the risks? United Kindom: Adam Hilger, 1989.

49. Cohen B.L. test of the lnear non-threshold theory of radiation carcinogenesis in the low dose, low dose rate region. Health Physics, 1995; 68:157-217.

50. Cameron J.R. A radiation unit for the public. Physics and Society News, 1991; 20:2.

51. Wahlstrom B. Understanding radiation. Madison: Medical Physics Publishing, 1996.

52. NCRP. Exposure of the U.S. Population from Diagnostic Medical Radiation. NCRP Report 100. USA: National Council on Radiation Protection. 1989.

53. Decreto No. 24037-S. Reglamento sobre protección contra las radiaciones ionizantes. La Gaceta No. 48. Año CXVII.