

MONITOREO AMBIENTAL CON DETECTORES TERMOLUMINISCENTES EN COSTA RICA

Patricia Mora Rodríguez y Erick Mora Ramírez*

Centro de Investigación en Ciencias Atómicas, Nucleares y Moleculares
Ciudad de la Investigación, Universidad de Costa Rica, Sabanilla 2070

Aceptado, 2 de febrero de 2006

Abstract

Using thermoluminescent dosimeters (Harshaw TLD-200) the first set of Costa Rica data on absorbed doses in air from natural radiation is obtained. During the period September 1996 through October 2000 eight different sites throughout the country were chosen to install the TLD stations. Each station had 8 cards (five were changed every 3 months and 3 were changed annually). The dosimeters were read in the Atomic, Nuclear and Molecular Research Center using a 4000 Harshaw reader. Through a mathematical algorithm and its calibration factors the absorbed dose rate in air ($\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$) was calculated. The national average is $108.9 \pm 32.4 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$, the lowest values (in $\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$) were obtained at sea level at Quebrada Honda with 53 ± 11 and the highest values (in $\text{nGy} \cdot \text{h}^{-1}$) at Cartago with 160 ± 19 . A slight increase with altitude is observed even though the Cartago station was always the highest. The values found agree with values reported worldwide.

Key words: natural radiation, thermoluminescence, dose, gray.

Palabras clave: radiación natural, termoluminiscencia, dosis, gray.

1. Introducción

La exposición de los seres humanos a las radiaciones naturales es un proceso continuo e inescapable de la naturaleza. Las radiaciones naturales que recibe el ser humano se dividen en fuentes externas al cuerpo humano y fuentes internas al cuerpo. [1,2]

Las fuentes externas al cuerpo son las fuentes radiactivas de origen cósmico y de origen terrestre. Continuamente estamos siendo bombardeados por partículas de alta energía que se originan en el espacio exterior, su número varía considerablemente con la

*email-pmora@cariari.ucr.ac.cr

altura debido a que la atmósfera actúa como una barrera protectora. [3] La 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. [4]

Las fuentes internas al cuerpo son aquellas que ingresan a nuestro cuerpo por vía de la ingestión y de la inhalación. De estas la principal contribución se debe a la inhalación de los isótopos del gas radón (Rn^{222} , Rn^{220} , Rn^{219}) y sus descendientes. [5]

Estudios sobre las actividades específicas en suelos costarricenses para los descendientes de las cadenas de U^{238} , así como del Th^{232} han sido realizados por el Laboratorio de Física Nuclear de la Universidad de Costa Rica. [6-8]

Sin embargo, las tasas de dosis en aire para nuestro país se desconocen y ellas deberían medirse rutinariamente por las siguientes razones: [9]

- ❖ para calcular las dosis efectivas que reciben las personas de las fuentes terrestres y la componente cósmica. Esta dosis anual natural se usa para compararla con las dosis recibidas en la industria, investigación y aplicaciones médicas.
- ❖ proveer un medio para verificar legalmente el cumplimiento de los laboratorios, plantas de manufactura, plantas nucleares, aceleradores y otras instituciones que deben ser vigiladas a través de programas ambientales debido a sus emisiones radiactivas.
- ❖ para determinar la efectividad de los procedimientos de remediación en sitios previamente contaminados.

En nuestro país las mediciones de las tasas de dosis en aire se justifican en el hecho de conocer los valores nacionales, pues carecemos de industria nuclear nacional que deba ser monitoreada por las autoridades nacionales. El presente estudio pretende recopilar el primer banco de datos de las tasas de dosis ambientales utilizando detectores termoluminiscentes en diversos sitios del territorio nacional con el objeto de conocer las dosis efectivas a que está siendo expuesta nuestra población, comparar estos valores a los reportados mundialmente y permitir a las autoridades nacionales contar con elementos de juicio técnico para la toma de decisiones en materia de seguridad radiológica en un futuro.

2. Materiales y Métodos

Proceso de termoluminiscencia

La termoluminiscencia es el proceso por medio de cual un cristal que ha sido irradiado con radiaciones ionizantes emite fotones de luz visible al aumentar su temperatura. El fenómeno luminiscente puede ocurrir por diferentes medios de excitación: fricción (triboluminiscencia), fotones de luz (fotoluminiscencia), energía

química (quimioluminiscencia), energía eléctrica (electroluminiscencia) y radiaciones ionizantes (termoluminiscencia). [10]

Un modelo muy sencillo del proceso termoluminiscente establece que la radiación ionizante incidente sobre un cristal libera un electrón de la banda de valencia hacia la banda de conducción. [11] El electrón es atrapado en la banda prohibida de energía en un sitio de impureza. Este estado es metaestable y el electrón seguirá atrapado hasta que energía le sea entregada. Al aumentar la temperatura del cristal, el electrón adquiere la energía cinética suficiente para regresar a la banda de conducción y recombinarse con el hueco, liberándose así la diferencia de energía entre ambos niveles. El fotón de luz liberado forma un pulso eléctrico en el tubo fotomultiplicador.

El Modelo Cinético de primer orden para la termoluminiscencia (TL) fue discutido por Randall Wilkins en 1945 y supone: [12]

Un solo tipo de "trampa" y un tipo de "centro" en donde la razón de escape viene dada por:

$$\frac{dn}{dt} = -n * s * e^{\left(\frac{-E}{KT}\right)} \quad (1)$$

donde:

n: número de cargas atrapadas (m^{-3})

s: frecuencia de vibración de las cargas en un pozo de potencial

K: constante de Boltzman (eV/K)

T: temperatura absoluta (K)

La intensidad luminiscente I se supone proporcional a la razón de escape:

$$I = -\frac{dn}{dt} = n * s * e^{\left(\frac{-E}{KT}\right)} \quad (2)$$

resolviendo la ecuación dn/dt utilizando una función lineal para el aumento de la temperatura en función del tiempo $T = T_0 + \beta t$ se obtiene:

$$n = n_0 * e^{\left(-\int_{T_0}^T \frac{s}{\beta} * e^{\left(\frac{-E}{KT}\right)} dT\right)} \quad (3)$$

al sustituir el resultado de (3) en (2) se obtiene finalmente:

$$I(T) = n_0 * s * e^{\left(\frac{-E}{KT}\right)} * e^{\left(-\int_{T_0}^T \frac{s}{\beta} * e^{\left(\frac{-E}{KT}\right)} dT\right)} \quad (4)$$

Se observa entonces que conforme la temperatura crece el primer exponencial domina y la señal TL crece hasta un punto máximo donde ambas funciones son iguales. A partir de esta temperatura la segunda exponencial domina y la señal TL decrece; formándose así la curva de brillo para un fósforo termoluminiscente. Basándose en el área bajo la curva de brillo que se registra al leer el cristal en la lectora, se obtiene la información sobre la cantidad de radiación incidente sobre el cristal.

Descripción de los detectores termoluminiscentes

Para la medición de las dosis ambientales por medio de la dosimetría termoluminiscente se utiliza frecuentemente cristales de fluoruro de calcio activados con disprosio ($\text{CaF}_2:\text{Dy}$) conocidos comercialmente como TLD-200. [13, 14]

Se utilizaron cristales termoluminiscentes TLD-200 de Harshaw Bicon con dimensiones de 3.2mm x 3.2 mm x 0.9 mm. Ellos se encuentran dentro de unas tarjetas de aluminio (sujetos con teflón) que se introducen en portadosímetros de plástico negro (Tipo 8807 de Harshaw con 80 mg/cm² de ABS) que cierra herméticamente. La construcción de los dosímetros y los portadosímetros se observa en la Figura No.1. Los portadosímetros utilizados no contienen filtros en las posiciones donde se encuentran nuestros cristales, por lo tanto la dosis absorbida en los cristales contiene la componente de la radiación cósmica.



Figura 1: Dosímetros TLD-200 en portadosímetros

Localización de las estaciones ambientales

Se escogieron ocho lugares para monitorear los niveles de tasa de dosis ambientales de Costa Rica. En cada lugar se colocó un total de 8 dosímetros (3 de ellos se cambiaban anualmente y 5 trimestralmente). Los dosímetros se colocaban a 1 metro de altura sobre el suelo como se muestra en la Figura No.2.

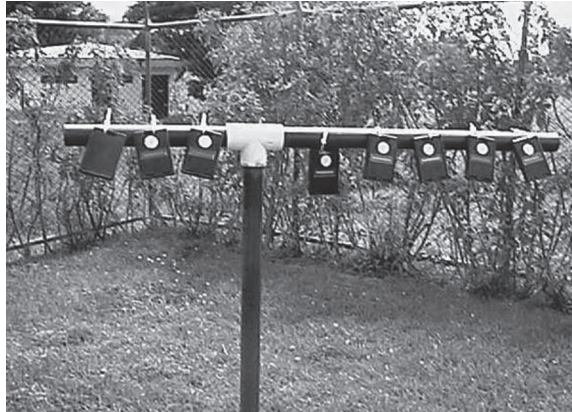


Figura 2: Colocación de los dosímetros en el campo.

Los lugares estudiados así como su altura a nivel del mar es la siguiente: Ciudad Quesada (12 m), Quebrada Honda (14 m), Laboratorio Física Nuclear-UCR (1000 m), Pinares Curridabat (1000 m), El Carmen Cartago (1500 m), Restaurante Fresas faldas de Volcán Poás (2000 m), Barba de Heredia (2000 m) y la Casetilla de Guarda parques en el Volcán Poás (2704 m).

Cálculo de dosis

Debido a que la señal TL que acumulan los cristales se puede alterar por cambios de temperatura, humedad y otros factores climáticos, se envían al campo 2 tarjetas (cambio trimestral) o una tarjeta (cambio anual) con una dosis de radiación conocida con el objeto de cuantificar los efectos ambientales sobre la señal TL almacenada en dicho período. Se obtiene así un factor de sensibilidad S (mGy/nC) que relaciona la cantidad de señal TL (nC) con la dosis del cristal (mGy). La dosis inicial se entrega utilizando un Irradiador Sr-Y/90 de Harshaw [15] tomando en cuenta el decaimiento radiactivo de la fuente de estroncio.

La tasa de dosis para cada estación se encuentra utilizando el siguiente algoritmo:

$$D' = (L - L_0) S T^{-1}$$

donde:

S : factor de sensibilidad (mGy/nC)

L: promedio de lecturas para la estación (nC)

L_0 : lectura de fondo (nC)

T : período total de permanencia del detector en la estación (h)

Debido a que las distancias de las estaciones con respecto al Laboratorio de Física eran cercanas no se utilizaron dosímetros de tránsito para cuantificar las dosis recibidas antes y después de colocar los dosímetros en las estaciones.

3. Resultados

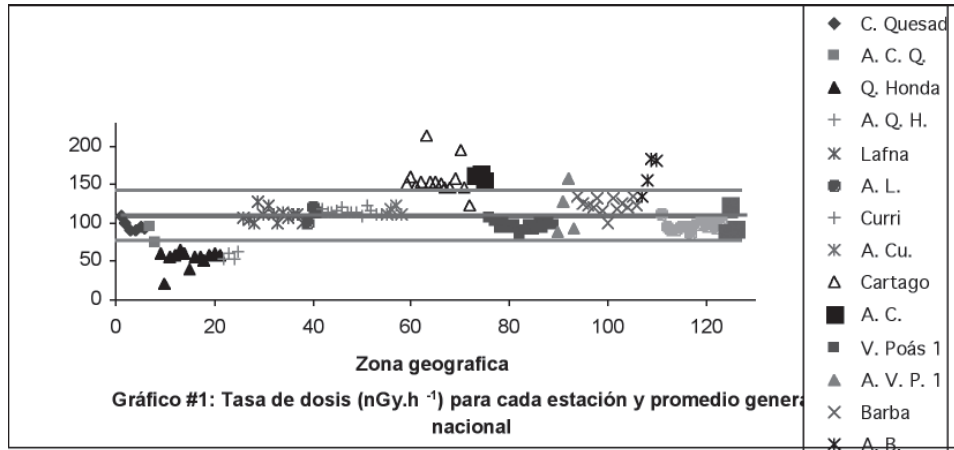
Durante el período comprendido entre setiembre de 1996 y octubre 2000, se llevaron a cabo 98 cambios trimestrales y 28 cambios anuales, para un total de 700 lecturas ambientales.

En la Tabla No. 1 se presentan las dosis promedio, su desviación estándar y el rango de dosis para los cambios trimestrales y anuales de cada estación. El promedio general de nuestro país es 108.9 ± 32.4 nGy.h⁻¹, con un rango que oscila entre 20.86 y 214.73 nGy.h⁻¹. Los valores más altos se encontraron siempre en la estación de Cartago.

TABLA 1
TASA DE DOSIS PROMEDIO (nGy.h⁻¹), DESVIACIÓN ESTÁNDAR, RANGO DE DOSIS
PARA CADA ESTACIÓN Y PROMEDIO GENERAL NACIONAL
CON SU RESPECTIVA DESVIACIÓN ESTÁNDAR.

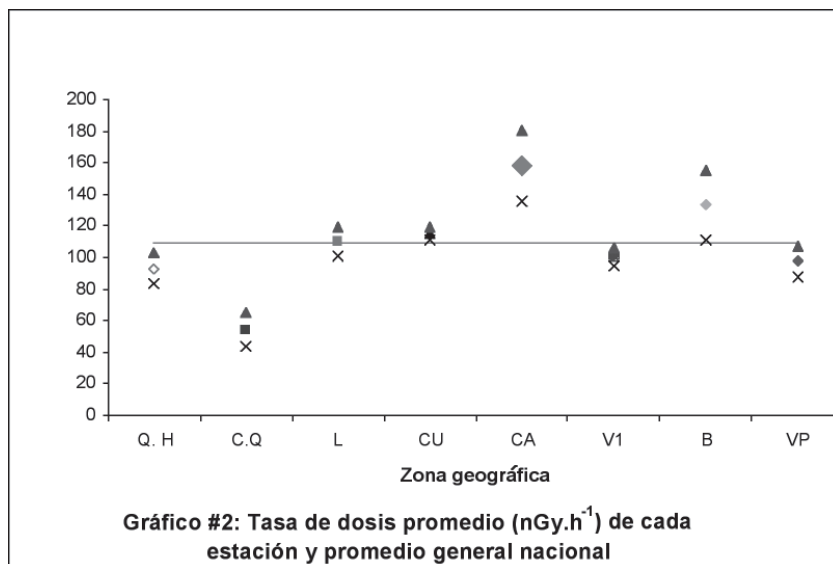
<i>Estación</i>	<i>Cambios Trimestrales</i>			<i>Cambios Anuales</i>		
	<i>Promedio</i>	<i>Des. Est.</i>	<i>Rango</i>	<i>Promedio</i>	<i>Des. Est.</i>	<i>Rango</i>
Q. Honda	53.81	11.77	20.86 – 65.87	56.97	4.49	53.10 – 61.79
C. Quesada	96.13	7.3	89.59 – 108.45	85.03	14.93	74.47 – 95.59
LAFNA	109.91	8.71	99.07 – 123.66	111.41	10.89	99.59 – 121.05
Curridabat	115.02	3.76	109.41 – 122.27	115.9	5.75	110.36 – 123.22
Cartago	159.56	20.96	146.08 – 214.73	151.84	19.61	122.96 – 165.81
Volcán Poás	96.44	5.62	86.73 – 107.06	116.45	32.58	88.81 – 157.90
Barva	123.81	9.66	99.24 – 135.74	164.2	23.5	134.43 – 184.49
Volcán Poás 1	96.79	6.71	85.68 – 110.88	100.75	19.33	87.16 – 122.88
Prom. General	108.89	<i>Des. Est.</i>	32.39			

En la Gráfica No. 1 presenta para cada estación el valor de dosis para los cambios trimestrales y anuales; así como una línea central que denota el promedio general nacional con su correspondiente desviación estándar.



Se observan variaciones en la tasa de dosis para una misma estación. Están documentadas las variaciones diarias en las tasas de dosis relacionadas con la temperatura del aire y su efecto en la concentración del gas radón y sus descendientes. [3]

En la Gráfica No. 2 muestra el promedio y su desviación estándar para todos los cambios para cada estación tomando en cuenta los cambios semestrales y los anuales. En la gráfica las estaciones fueron colocadas de menor a mayor altitud.



4. Conclusiones

El Comité Científico de las Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica [3] indica que el rango típico de valores medidos mundialmente para la dosis en aire es de 10 – 200 nGy.h⁻¹ y los promedios para los diferentes países se encuentran entre 18 y 107 nGy.h⁻¹. Específicamente algunos datos en nGy.h⁻¹ que se utilizan de comparación son: en el Distrito Federal en México se reportan valores de 83 a 112, [16] para la costa suroeste de la India de 44 a 175, [17] en los estados de Nueva York y Nueva Jersey de 50.8 a 123.1, [9] alrededor de algunas plantas nucleares chinas es de 68.5 a 159.8 [14] y 57 a 119. [18]

El valor promedio encontrado para Costa Rica 108.9 nGy.h⁻¹ contiene alrededor 30 nGy.h⁻¹ de la componente cósmica según UNSCEAR [3] por lo tanto si a nuestro promedio se le sustrae la componente cósmica el mismo se encuentra dentro de los rangos reportados mundialmente. Para evidenciar algunos de los lugares donde las tasas de dosis en aire en nGy.h⁻¹ son muy altas tenemos: Ramsar y Mahallat (Irán) con rangos de 90 a 86000, India con valores promedios de 1500, Minas Gerais (Brazil) 2300 en promedio, la Isla Niue en el Pacífico con máximos de 1100, Italia con promedios de 560 y el centro de Francia con rangos de 200 a 400. [3, 19]

Utilizando el valor de la tasa de dosis promedio nacional la dosis efectiva en mSv/año debido solamente a la componente gamma (terrestre y cósmica) y asumiendo un factor de radiación de w_T igual a 1 [20] es de 0.95 mSv anuales. El límite según el Reglamento sobre protección contra las radiaciones ionizantes [21] para el público es de 1 mSv/año por lo tanto nuestras mediciones indican que la contribución debido a la radiación gamma natural es semejante al límite establecido por órganos reguladores nacionales e internacionales.

5. Agradecimientos

Se agradece a la Vicerrectoría de Investigación por su apoyo en el proyectos No. 112-95-563 y No. 112-98-634. Al experto argentino Ing. Gustavo Massera del Organismo Internacional de Energía Atómica por su colaboración con los protocolos de cálculo y calibraciones de los detectores. Así mismo a las siguientes personas que permitieron la instalación de los dosímetros en sus propiedades: Laila Scola, Luis G. Loría, Evelyn Abarca, personal del Parque Nacional Volcán Poas y Alejo Castro.

6. Bibliografía

- [1] UNSCEAR, Exposures from Natural Radiation Sources, draft document, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, Viena, 1999.
- [2] Mora P., *Acta Med. Costarr.* **1999**, 41 (2):16.

- [3] UNSCEAR, Sources and effects of low level radiation, United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, United Nations Publication: Nueva York, 1993.
- [4] NCRP. Exposure of the population in the United States and Canada from natural background radiation NCRP Report 94. National Council on Radiation Protection, EUA, 1987.
- [5] NCRP. Control of Radon in Houses. NCRP Report 103. National Council on Radiation Protection, EUA, 1989.
- [6] Mora P.; Salazar A. J. *Trace Microprobe Techniques*, **1996**; 14 (4), 727.
- [7] Mora P. y Salazar A., *Cienc. Tecnol.* **1995**; 19 (1/2): 79.
- [8] Loría L.G., Jiménez, R.; Gallardo M. *Tecnología en Marcha*, **1994**, 11 (4), PÀGINA.
- [9] Maiello M., *Health Phys.* **1997**, 72 (6) 915.
- [10] Mora P. *TLD Output per absorbed energy at different X Ray Beam Qualities using LiF and CaF₂*. Tesis de Maestría, Department of Medical Physics University of Wisconsin-Madison, EUA, 1986.
- [11] Cameron J. R.; Suntharanligam, N.; Kenney, G. N., *Thermoluminescent Dosimetry*, The University of Wisconsin Press 1968.
- [12] Horowitz Y. *Thermoluminescence and Thermoluminescent Dosimetry*. CRC Press, Boca Ratón FL, 1984.
- [13] Oberhofer M. And Scharmann A. *Applied Thermoluminescence Dosimetry*. Adam Hilger Ltd, Commission of the European Communities, Gran Bretaña, 1981.
- [14] Zeng, X.-S.; Zeng, J.-X.; Tan, G.-X.; Mai, W.-J. ; *Health Phys.* **1996**, 70 (3).
- [15] Harshaw Bicon, Manual for TLD Irradiator Model 2000. Bicon Technologies Vertiebs-BmbH., Alemania, 1994.
- [16] Morales-Zárate A.; Buenfil, A.E., *Health Phys.* **1996**, 71 (3), 358..
- [17] Radhakrishna, A. P.; Somashekarappa, H. M.; Narayana, Y.; Siddappa, K., *Health Phys.* **1993**, 65 (4), 390.
- [18] Minde D., Sheng P. and Zhangji Z., Environmental Radiation Real- Time Monitoring System Permanently Install near Qinsan Nuclear Power Plant. *Health Phys.* **1996**, 70 (3), 415.

- [19] Banzi, F.; Kifanga, L.; Bundala, F., *J. Radiol. Prot.* **2000**, *20*, 41.
- [20] ICRP. 1990 Recommendations of the ICRP Publication 60. International commission on Radiological Protection, Pergamon Press: Londres, 1991.
- [21] Ministerio de Salud. Reglamento sobre protección contra las radiaciones ionizantes. La Gaceta No.48 Año 67, 1995.