

Evaluación de la carga radiacional sobre pacientes y trabajadores en el balneario Elguea, Cuba

Juan Tomás Zerquera, Isis María Fernández Gómez, Jorge Carrazana González, Eduardo Capote Ferrera, Gloria Rodríguez Castro
Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR)
Calle 20 N° 4113 e/ 41 y 47, Playa. La Habana, Cuba
jtomas@cphr.edu.cu

Resumen

Los balnearios de aguas termales procedentes de capas geológicas profundas se han identificado como escenarios típicos de exposición a radiaciones de origen natural, tanto para los pacientes que se someten a los tratamientos como para los trabajadores de estas instalaciones, debido a la permanencia en lugares con niveles incrementados de radiación. Por ello se realizan en estos balnearios estudios de caracterización dirigidos a evaluar el impacto radiológico que producen sobre estas categorías poblacionales. El balneario de Elguea, ubicado en la costa norte de Villa Clara, está equipado para brindar servicios que emplean las aguas termales y los lodos en la zona del balneario. Las aguas de este balneario contienen niveles significativos de radón. En este trabajo se presentan las estimaciones de dosis realizadas a partir de la caracterización radiológica del balneario y su entorno, tanto para los trabajadores como para los pacientes que reciben tratamientos. Los valores de dosis estimados se encontraron en el intervalo de 1,01 a 180 $\mu\text{Sv/año}$ para los trabajadores, que resultó ser el grupo más irradiado, y no indicaron la necesidad de adoptar medidas o regulaciones especiales de protección.

Radiological impact assessment on patients and workers at Elguea spa

Abstract

The use of hot spring waters from deep geologic layers in spas has been identified as typical scenarios of exposure to natural radiation. These scenarios can affect the patients under treatment, as well as the workers of these facilities. Therefore, characterization studies are being undertaken in these spas in order to evaluate the radiological impact they produce on these categories of population. The Elguea Spa, located on the northern coast of Villa Clara, Cuba, is equipped to provide services by using hot spring waters and mud existing in the zone of the spa. Its waters contain significant levels of radon. Present paper shows the dose estimates made from the radiological characterization of the spa and its surroundings, both for workers and the patients receiving treatment. The dose values are in the range of 1,01 to 180 $\mu\text{Sv/year}$ for workers, the most irradiated group, and these results suggest that there is no need for special protection measures or regulations.

Key words: *balneology, geothermal fluids, natural radioactivity, radon, Cuba, dose equivalents, dose rates, environmental materials, experimental data*

Introducción

La problemática de la exposición no controlada a las fuentes naturales de radiación por motivos de trabajo y de tratamientos de salud es hoy en día objeto de debate entre especialistas y reguladores. Por cuanto, aún cuando las dosis de radiación asociadas pueden llegar a ser significativamente superiores a las que se reciben durante la realización de actividades en las que típicamente

la exposición a las radiaciones es objeto de control, generalmente las actividades relacionadas con el manejo y exposición a los materiales contentivos de radionúclidos de origen natural no se han considerado como prácticas desde el punto de vista regulador. Algunos países han adelantado normativas y criterios relativos a la exposición a estas fuentes [1], pero hoy, aún es un tema no agotado. Por ello en numerosos países se desarrollan trabajos para identificar sus escenarios de

exposición a la radiación natural, entre los cuales se encuentran los de exposición al radón, torón y radiación gamma en balnearios.

En Cuba se han identificado cinco actividades que pudieran estar asociadas a niveles significativos de las dosis de radiación, por lo que se han establecido controles reguladores sobre estas en los sanatorios de aguas termales. Los balnearios de aguas termales procedentes de capas geológicas profundas son escenarios típicos de exposición a radiaciones de origen natural. De manera general estos escenarios afectan tanto a los pacientes que se someten a los tratamientos, y que pueden estar en contacto directo con los materiales portadores de los radionúclidos, como a los trabajadores, cuya permanencia en los espacios con niveles incrementados de radiación es mucho mayor que la de los pacientes. Por ello, es común que se realicen en estos balnearios estudios de caracterización dirigidos a evaluar el impacto radiológico que estos escenarios producen sobre estas categorías poblacionales. Estudios de este tipo se han realizado en diversas partes del mundo [2-6], así como en Cuba [7] para determinar el contenido de radionúclidos en las aguas y los lodos utilizados con fines terapéuticos. En este caso se estudió el balneario Elguea, ubicado en la costa norte de la provincia de Villa Clara, considerado uno de los más importantes de América Latina. Las aguas de este balneario son ricas en sales de cloro, sodio, bromo, sulfuros, y además contienen radón. Estas aguas se usan para diferentes tratamientos terapéuticos como relajación, revitalización, tratamientos antiestrés, contra la obesidad, para problemas en los sistemas de locomoción, respiratorio, circulatorio y neurológicos. Con este fin, el balneario está equipado, entre otras facilidades, con tres piscinas de natación, bañeras individuales con motores para masajes, sauna, hidroterapia y terapia de barro. Todos estos servicios emplean, de una forma u otra, las aguas y lodos termales del balneario.

Con la finalidad de realizar la caracterización radiológica del sitio y las actividades que en él se desarrollan, se realizaron mediciones de tasas de dosis gamma ambiental de la zona del balneario, y se estimaron niveles de dosis que reciben los trabajadores y pacientes bajo tratamiento en las diferentes áreas de trabajo y de tratamiento. El trabajo resume los resultados de este estudio.

Materiales y Métodos

Los escenarios identificados como de posibles exposiciones significativas se conformaron a partir de las situaciones de exposición que se podían presentar en la instalación y que se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Escenarios de exposición identificados

Nº	Situación de exposición	Tipo de irradiación	Grupo de personas que afecta*
1	Permanencia en los locales de la instalación	Externa	T y P
2	Inhalación de radón	Interna	T y P
3	Tratamiento con lodos termales	Externa	P
4	Manipulación de lodos	Externa	T
5	Inmersión en aguas termales	Externa	P

*T – trabajadores, P – pacientes en tratamiento (público).

Para evaluar las tasas de dosis gamma en los diferentes espacios se utilizaron dosímetros termoluminiscentes de LiF (Mg, Cu, P), los cuales se colocaron por períodos trimestrales en los locales de estudio y se evaluaron posteriormente en el Laboratorio de Dosimetría Externa (LDE) del CPHR. Estas mediciones se complementaron con mediciones de los niveles de radiación gamma en los espacios abiertos de la instalación mediante espectrometría gamma *in situ*, utilizando un espectrómetro gamma de germanio de alta pureza portátil para mediciones de campo. Estas mediciones directas en el lugar, permitieron no solo complementar la información sobre la tasa de dosis gamma, sino además, identificar los radionúclidos involucrados. Al mismo tiempo, para evaluar las dosis por la inhalación de radón, se realizaron mediciones de las concentraciones de radón en espacios interiores mediante mediciones directas, usando un sistema de filtrado y medición simultáneos SARAD RM2000. Estas mediciones se complementaron con la colocación de detectores pasivos de radón por períodos prolongados de tiempo (tres meses) para promediar las posibles fluctuaciones que pudieran existir en las concentraciones de radón. Por último, para la caracterización radiológica de los lodos y las aguas

utilizados en los tratamientos, se tomaron muestras de las diferentes fuentes de lodos y se trasladaron al Laboratorio de Vigilancia Radiológica Ambiental del CPHR, para hacer las determinaciones de los contenidos de radionúclidos mediante espectrometría gamma de alta resolución con el uso de un detector de germanio de alta pureza.

Una vez obtenidos los datos de la caracterización radiológica de los escenarios estudiados, las dosis se estimaron en cada situación de exposición de acuerdo con los siguientes métodos:

Para la situación de exposición No. 1 "Permanencia en los locales de la instalación", se asumieron escenarios conservadores de permanencia de 192 horas mensuales para los trabajadores y de 20 horas por estancia de una semana en tratamiento para los pacientes. Como valor de tasa de dosis para el cálculo, se tomó el máximo valor medido en los locales de la instalación. La dosis se estimó de acuerdo con la expresión:

$$E = \dot{E} \times t \quad (1)$$

donde E es la dosis efectiva integrada por irradiación externa (μSv); \dot{E} es la tasa de dosis máxima medida en los locales de la instalación ($\mu\text{Sv/h}$); t es el tiempo de integración de las dosis, un año de trabajo o una temporada de tratamientos de un paciente (en h).

En el escenario No. 2 "Inhalación de radón", se asumieron las mismas permanencias que en el escenario 1. Para estimar las dosis se utilizó el mayor valor de concentración de radón determinado en los locales estudiados. La dosis se estimó de acuerdo con la expresión:

$$E = 0.4 \times C_{\text{aire}} \times DF_{\text{radón}} \times t \quad (2)$$

donde E es la dosis efectiva comprometida por inhalación de radón (μSv); C_{aire} es la concentración de radón en aire (Bq/m^3); $DF_{\text{radón}}$ es el coeficiente de conversión a dosis efectiva comprometida debida a la inhalación de radón según el modelo propuesto por UNSCEAR [6], igual a $9 \times 10^3 \mu\text{Sv/h/Bq/m}^3$; t es el tiempo de permanencia en los locales con presencia de radón (h). El valor 0,4 en la expresión es el valor por defecto del factor de equilibrio del radón y sus hijos para permanencia en interiores recomendado por UNSCEAR [6].

La estimación de las dosis para el escenario No. 3 "Tratamiento con lodos termales" se realizó, utilizando la información suministrada por el perso-

nal de la instalación, según los tratamientos pueden ser hasta 9 sesiones de aplicación de lodos de 30 minutos cada una. En la estimación se tomaron los valores máximos de concentración de Ra-226 y K-40 que se obtuvieron en las determinaciones gamma espectrométricas hechas a las muestras de lodos recogidas. No se consideró el aporte de los radionúclidos de la serie del Th-232 que aparecieron en el estudio, ya que aparecen en concentraciones inferiores en 20 veces a las de los radionúclidos de la serie del U-238. Para estimar las dosis en piel debidas al Ra-226, se asumió que las concentraciones de este radionúclido y sus hijos en el segmento Ra-226–Po-210 se encontraban en estado de equilibrio secular, estimación que simplifica y maximiza las estimaciones. La dosis se estimó de acuerdo con la expresión:

$$E = A_{\text{sup}} \times DF_{\text{sup}} \times t \quad (3)$$

donde E es la dosis efectiva en piel por irradiación desde el material depositado sobre ella (μSv); A_{sup} es la actividad superficial de los radionúclidos depositada junto con los lodos (Bq/cm^2); DF_{sup} es la tasa de dosis efectiva por unidad de contaminación superficial ($\mu\text{Sv/h/Bq/cm}^2$), cuyos valores se tomaron de [8]; t es el tiempo de integración de las dosis (h). Las mismas consideraciones en relación con los radionúclidos se hicieron para el escenario No. 4 "Manipulación de lodos". Para los tiempos de manipulación se tomó un valor de 50 minutos por día, que considera tanto la manipulación durante la preparación previa de los lodos como la que se realiza durante su aplicación. Todo esto para 12 días por mes de trabajo de cada trabajador, pues la rotación de los trabajadores en esa área es de una semana de trabajo, alternando con una de descanso. Un caso particular es el de la persona que recoge y acondiciona los lodos en las fuentes diariamente, y para el cual se asumió un tiempo de manipulación al mes de 24 horas. La expresión de cálculo es similar a la utilizada para el escenario No. 4.

Por último, en el escenario No. 5 "Inmersión en aguas termales" se utilizó para las estimaciones siguiendo los protocolos establecidos para los tratamientos en la instalación, un tiempo de inmersión de 5 minutos iniciales, continuando con incrementos de 5 minutos hasta una inmersión final de 30 minutos, lo que equivale a una permanencia total de 1,75 horas por tratamiento completo. La concentración de radionúclidos en agua utilizada fue la

determinada por mediciones gamma espectrométricas de las muestras de agua, asumiendo de nuevo el segmento Ra-226–Po-210 en equilibrio secular para evaluar las dosis. La dosis se estimó de acuerdo con la expresión:

$$E = C_{\text{agua}} \times DF_{\text{inmersión}} \times t \quad (4)$$

donde E es la dosis efectiva en piel por inmersión en el agua (μSv); C_{agua} es la concentración de radionúclidos en el agua (Bq/m^3); $DF_{\text{inmersión}}$ es la tasa de dosis efectiva por inmersión unidad de concentración en agua ($\mu\text{Sv}/\text{h}/\text{Bq}/\text{m}^3$), cuyos valores se tomaron de [9]; t es el tiempo de integración de las dosis (h).

Una vez estimadas las dosis para cada escenario y para cada grupo involucrado, se sumaron las contribuciones de cada escenario a cada grupo de personas (pacientes o trabajadores), asumiendo conservadoramente que la persona más irradiada de cada grupo es aquella que recibe todas las dosis de los escenarios posibles correspondientes a cada grupo (trabajadores y pacientes).

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos a partir de las mediciones realizadas se resumen en las tablas 2 y 3. Los resultados de las mediciones de las concentraciones de radionúclidos, tanto en los lodos como en las aguas termales, se compararon con los resultados reportados por otros autores según muestran las tablas 4 y 5. Para los lodos como se aprecia en la tabla 4, en el caso del Ra-226 y el Pb-210, los valores resultan más elevados que los reportados en otros estudios, lo cual está en correspondencia con la peculiaridad del balneario Elguea, donde las aguas procedentes de las capas profundas emergen en el sitio, arrastrando elevados niveles de Ra-226 y Rn-222 disueltos, los que se mezclan con los suelos y materia orgánica del lugar y producen estos lodos, que a su vez contienen bajos niveles de K-40, como se aprecia en la comparación. Las determinaciones en aguas, que se observan en la tabla 5, muestran una buena correspondencia con los resultados del estudio en Italia, mientras que para el caso de España se concluyó que los niveles del balneario estudiado son bajos en comparación con otros balnearios de ese país, en hasta dos órdenes de magnitud.

Tabla 2. Valores medidos de dosis equivalente ambiental para tiempos de exposición de los dosímetros de tres meses

Lugar de exposición del dosímetro ambiental	Dosis equivalente ambiental (mSv)
Enfermería	0,20
Electroterapia	0,20
Dirección	0,17
Consulta de masaje	0,20
Local de preparación de fangos	0,22
Piscina interior	0,14

Tabla 3. Valores de concentración de actividad de emisores gamma de origen natural en las muestras analizadas

Tipo de muestra	Ra-226 (Bq/kg)	K-40 (Bq/kg)	Pb-210 (Bq/kg)
Lodos termales (piscina 2)	711 ± 36	116 ± 8	395 ± 21
Lodos termales (piscina 3)	480 ± 24	121 ± 13	127 ± 12
Lodos termales (piscina 4)	473 ± 24	119 ± 13	128 ± 12
Líquenes (zona piscinas de lodos)	13,0 ± 0,7	368 ± 16	21 ± 10
Cactus (zona piscinas de lodos)	26 ± 2	202 ± 22	<19
Pasto (zona piscinas de lodos)	21,6 ± 1,5	125 ± 23	<63
Plantas rastreras (zona piscinas de lodos)	392 ± 5	340 ± 26	243 ± 23
Pasto (zona desagüe de las piscinas de lodos)	10 ± 2	415 ± 29	29 ± 6
Sedimentos superficiales (zona desagüe de las piscinas de lodos)	3919 ± 196	199 ± 14	1383 ± 70
Aguas termales	6,3 ± 0,4	-	-
Lodo del canal desagüe	240 ± 12,1	101 ± 7	-

Tabla 4. Comparación de las concentraciones de radionúclido (Bq/kg) en los lodos estudiados (intervalos de variación) con los resultados obtenidos por otros autores (valores representativos)

Radionúclido	Elguea	San Diego, Cuba [6]	Italia [4]	Egipto [4]
Pb-210	127 - 395	51 ± 10	25	-
Ra-226	473 - 711	22 ± 2	30	47 ± 7
K-40	116 - 121	208 ± 43	659	393 ± 19

Tabla 5. Comparación de las concentraciones de radionúclidos (Bq/kg) en las aguas estudiadas con los resultados obtenidos por otros autores

Radionúclido	Elguea	Italia [3]	España [2]
Ra-226	6,3 ± 0,4	0,3 – 6,4	0,18 ± 0,3

Con los resultados de las mediciones se realizaron las estimaciones de dosis de acuerdo, en cada escenario, con la metodología antes descrita. Los resultados de las estimaciones de dosis se muestran en las tablas 6 y 7 para los trabajadores y los pacientes respectivamente. Como se aprecia en el caso de los trabajadores, la permanencia en los locales de la instalación (54%) y la inhalación de radón (45%) son las vías de exposición que más aportan a las dosis. No obstante, ser el grupo más expuesto, lo cual era de esperar debido a su mayor permanencia en la instalación, las dosis no resultan ser significativas, representando apenas un 20% de incremento sobre el valor de dosis de $1,1 \pm 0,3$ mSv/año, estimado como representativo de las dosis que recibe la población cubana como consecuencia de las fuentes ambientales de radiación [10]. En el caso especial del radón, es importante la influencia en este valor relativamente bajo de las altas tasas de ventilación que caracterizan a las instalaciones estudiadas, por lo que se recomienda a la administración del lugar dar el seguimiento necesario para mantener las tasas de ventilación en el valor más alto posible, mediante un uso adecuado y mantenimiento de las ventanas de los locales.

Tabla 6. Estimaciones de dosis para los trabajadores en los escenarios de exposición identificados

Situación de exposición-Trabajadores	Dosis, μ Sv/año
Permanencia en los locales de la instalación	180 ± 80
Inhalación de radón	150 ± 80
Manipulación de lodos previa a tratamientos*	1,01 ± 0,07
Manipulación de lodos diaria*	2,4 ± 0,2
Dosis total	330 ± 160

*Valores alternativos para la suma.

Tabla 7. Estimaciones de dosis para los pacientes en los escenarios de exposición identificados

Situación de exposición-Pacientes	Dosis, μ Sv/trat. compl.
Permanencia en los locales de la instalación	1,7 ± 0,7
Inhalación de radón	1,4 ± 0,7
Tratamiento con lodos termales	0,46 ± 0,03
Inmersión en aguas termales	$(2,1 \pm 0,1) \times 10^{-9}$
Dosis total	4 ± 1

Para el caso de los pacientes las dosis son prácticamente irrelevantes (0,3% del valor representativo de la población cubana), motivado fundamentalmente por la poca permanencia de estos en la instalación, donde acuden únicamente a recibir los tratamientos, ya que el área de alojamiento se encuentra a una distancia prudencial de las áreas de tratamiento (150–400 m) y no presenta niveles de radiación por encima del fondo natural.

Conclusiones

Con la finalidad de hacer la evaluación de las dosis en un escenario típico de exposición a la radiación natural, se realizó la caracterización radiológica del balneario Elguea, ubicado en la costa norte de Villa Clara. Las mediciones realizadas evidenciaron la presencia predominante de radionúclidos de la serie del uranio, con concentraciones importantes de Ra-226 y Rn-222 en los lodos y las aguas utilizadas en los tratamientos. Estos resultados se encuentran en el intervalo de valo-

res reportados por otros autores. A partir de la caracterización radiológica realizada se estimaron las dosis tanto para los trabajadores que aplican los tratamientos como para los pacientes que los reciben en los diferentes escenarios de exposición a las radiaciones identificados. Los valores de dosis estimados se encontraron en el intervalo de 1,01 a 180 $\mu\text{Sv/año}$ para los trabajadores y de 0,46 a 1,7 μSv por tratamiento completo a los pacientes. Los valores obtenidos, aún para los trabajadores que resultaron ser el grupo más irradiado, no indican la necesidad de adoptar medidas o regulaciones especiales de protección.

Referencias

- [1] EUROPEAN COMMISSION. Radiation Protection 88. Recommendations for the implementation of title VII of the European Basic Safety Standards Directive concerning significant increased in exposure due to natural radiation sources. European Commission, 1997.
- [2] PALOMARES LÓPEZ J, POZUELO CUERVO M. Análisis de la Radiactividad en aguas de los Balnearios de Alhama de Granada. *Anal. Real Acad. Nac. Farm.* 2002; 68: 373-380.
- [3] DORETTI L, et al. Natural Radionuclides in the Muds and Waters Used in Thermal Therapy in Abano Terme, Italy. *Radiat Protect Dosimetry.* 1992; 45 (1/4): 175-178.
- [4] TATEO F, et al. The in-vitro percutaneous migration of chemical elements from a thermal mud for healing use. *Appl Clay Science.* 2009; 44(1-2): 83-94.
- [5] EL-ARABI AM, et al. Gamma-ray measurements of natural radioactivity in sedimentary rocks from Egypt. *Nucl Sci and Tech.* 2006; 17(2): 123-128.
- [6] UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION. Sources and Effects of Ionising Radiation. UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly. New York: UNSCEAR, 2000.
- [7] DÍAZ RIZO O, et al. Levels of radioactivity and historical heavy metal enrichment in healing mud profiles from San Diego River, Cuba. Proceedings of the XIII Workshop on Nuclear Physics and VII International Symposium on Nuclear and Related Techniques. WONP-NURT'2011. Havana, Cuba. 2011.
- [8] DELACROIX D, GUERRE JP, et al. Radionuclide and Radiation Protection Data Handbook 2002. *Radiat Prot Dosimetry.* 2002; 98(1): 1-168.
- [9] ECKERMAN KF, RYMAN JC. External Exposure to Radionuclides in Air, Water and Soil. Federal Guidance Report No. 12. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, 1993.
- [10] TOMÁS J, PRENDES M, et al. Distribution of doses received by Cuban population due to environmental sources of radioactivity. *Radiat Protect Dosimetry.* 2007; 123(1): 118-121.

Recibido: 25 de enero de 2011

Aceptado: 28 de abril de 2011