

RADIATIVIDAD EN AGUAS DE CONSUMO

RADIOACTIVITY IN DRINKING WATER

José Luis Gutiérrez-Villanueva^a, Carlos Sainz Fernández^a, Ismael Fuente Merino^a, Luis Quindós López^a, Jesús Soto Velloso^a, José Luis Arteché García^b, Luis Santiago Quindos Poncela^a y Enrique Estrada Vélez^c

^aGrupo RADÓN. Facultad de Medicina. Universidad de Cantabria

^bAgencia Meteorológica Estatal de España

^cDelegado de la Sociedad Española de Sanidad Ambiental en Castilla y León

RESUMEN

La directiva europea sobre calidad en el agua potable del año 2003 estableció los límites para los valores de los parámetros radiactivos. Esta directiva europea fue incorporada a la legislación 2003. Los parámetros a analizar son los índices alfa y beta total, el contenido en tritio y la dosis indicativa total. El correspondiente real decreto, en el caso de España, se comenzó a aplicar en el año 2008. No solamente el agua potable procedente de captaciones públicas está sujeta a control, sino que también se deben controlar las aguas comerciales. En ambos casos se han llevado a cabo estudios en todo el mundo. Existe un rango amplio de técnicas para la medida de la radiactividad en el agua de consumo. Este artículo describe tales técnicas e indica cuando se debe aplicar cada una de ellas. Por último, se muestran los resultados más importantes obtenidos tras el análisis de aguas potables y comerciales, tanto en aguas españolas como de fuera de España. Los resultados muestran que se superan los límites en algunos casos y por lo tanto se debe prestar especial atención a fin de reducir los niveles de radiactividad en las aguas potables todo lo posible.

PALABRAS CLAVE: agua potable; radiactividad; radón; radio; dosis.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del 80% del cuerpo humano está compuesto por agua y del mismo modo el agua es el principal componente de nuestra dieta. El agua potable procede de los ríos, lagos, acuíferos y otras partes de la corteza terrestre. Por otro lado, es conocido que la corteza terrestre está compuesta por determinados elementos de naturaleza radiactiva. Los primeros elementos de las cuatro series radiactivas naturales son el ²³⁸U, ²³⁵U, ²³²Th y el ³⁷Np. En el caso del último, su vida media es de $2.14 \cdot 10^6$ años, esto es, unas 1.000 veces menos que la edad estimada de la tierra. Las vidas medias de los otros radionucleidos son de $4.47 \cdot 10^9$, $7.04 \cdot 10^8$ y $1.4 \cdot 10^{10}$ (según la web del National Nuclear Data Center). Es importante destacar que en cada una de estas series se encuentran presentes isó-

ABSTRACT

The European Directive on the quality of drinking water in 2003 establishing limits on the values of the radioactive parameters concerning the quality of drinking waters was translated to the Spanish legislation on 2003. These parameters are the gross alpha and beta indexes, tritium content and total indicative dose. The corresponding Spanish Royal Decree came into force in 2008. Not only tap drinking water is subjected to control of radioactivity but also commercial drinking water. Different studies have been carried out all over the world in both cases. There is a wide range of techniques for the measurement of radioactivity in water. This article describes these techniques and shows when they must be applied. Finally the most important results obtained after analysis in tap water and commercial water are shown both in Spanish and non-Spanish waters. The results show that limits are overtaken in some cases and special care must be taken in order to reduce the levels of radioactivity in drinking water as much as possible.

KEY WORDS: drinking water; radioactivity; radon; radium; dose.

topos de radio y del radón, en particular el ²²⁶Ra, ²²²Rn, ²²⁸Ra y ²²⁰Rn. En cuanto al origen de la radiactividad en el agua de consumo este puede ser de diversa naturaleza: elementos radiactivos naturales, procesos tecnológicos que utilicen elementos cuya naturaleza es radiactiva y descarga de radionucleidos debido a procesos industriales vertidos al medio ambiente.

Sin embargo, aunque la superficie terrestre está compuesta en un porcentaje entorno al 70% de agua, la mayoría es agua salada y tan solo el 3% es agua dulce. De este 3%, las tres cuartas partes están en forma de hielo y se encuentran en los polos norte y sur. De modo que no hay mucha agua potable a disposición del consumo humano y el agua se está convirtiendo en un verdadero tesoro cuyo valor está incrementándose.

Correspondencia: José Luis Gutiérrez-Villanueva · Grupo RADÓN, Facultad de Medicina, Universidad de Cantabria · C/Cardenal Herrera Oria s/n · 39011 Santander · Tel.: 942 20 22 07- Fax: 942 20 19 91 · gutierrezjl@unican.es

El agua que se utiliza para consumo humano se puede clasificar en dos grandes grupos: agua del grifo y agua embotellada. En Europa el agua embotellada es muy común y de todo el agua embotellada que se produce en el mundo un 30% es consumido por Europa. En el caso de España, se trata del cuarto país en consumo de agua embotellada en Europa por detrás de Italia, Alemania y Francia. Italia es el principal país productor de agua embotellada en Europa que supone un tercio de la producción total europea (Rusconi *et al.*, 2007). Puesto que el agua es un componente fundamental de la dieta humana, las autoridades están llevando a cabo un incremento de los esfuerzos por incrementar los controles en la calidad del agua que consumimos.

El contenido radiactivo del agua de consumo no se debe solo a la presencia de radionucleidos de origen natural, también pueden estar presentes otros como puede ser el ^3H que posee una vida media de 12.32 años. Otro isótopo presente es el ^{40}K que posee una vida mayor ($1.25 \cdot 10^9$ años). Los esfuerzos de las distintas autoridades con competencias en el control de la calidad del agua de consumo se resumen de la siguiente manera: el 3 de noviembre de 1998 el Consejo Europeo estableció la Directiva Europea 98/83 EC destinada a controlar la calidad del agua de consumo humano (EC, 1998). Este documento establecía límites para el contenido radiactivo del agua potable. En concreto, el límite para el contenido en tritio y la dosis indicativa total era de 100 Bq l^{-1} y 0.10 mSv por año respectivamente. Al tratarse de una directiva europea, como es sabido se tiene que trasladar a las diferentes legislaciones de los países miembros. Es por ello que en el caso de España en el año 2002 se aprobó el R. D. 1074/2002 en el que se establecían límites para la radiactividad en las aguas comerciales. Posteriormente en el año 2003 se aprobó el Real Decreto por el que se regula la calidad del agua de consumo (R. D. 140/2003). En este documento se establecen límites para parámetros químicos, biológicos y también los radiactivos para el agua potable. En el caso de la radiactividad, se introducen dos conceptos como son el contenido en radiactividad debido a la presencia en el agua de isótopos emisores alfa y el contenido radiactivo debido a la presencia de emisores beta. El primer concepto se denomina radiactividad alfa total. En este caso se excluyen el radón y sus productos de desintegración. El segundo concepto es la radiactividad beta total en la que se excluyen el tritio y el ^{40}K . Es por ello que el R. D. 140/2003 tiene en cuenta no la radiactividad beta total sino el parámetro beta resto. Para ello se debe sustraer al valor de beta total el contenido en ^{40}K de la muestra que se está analizando. De esta manera los valores que establece la legislación española son 0.1 Bq l^{-1} y 1 Bq l^{-1} para el parámetro alfa y beta total respectivamente. Los valores para el contenido en tritio y de dosis indicativa total se mantienen respecto a la directiva europea a la que hemos aludido anteriormente.

Existe también una guía establecida por la OMS (Organización Mundial de la Salud, 2006) en la que se establecen valores para los competentes biológicos, químicos y físicos del agua de consumo. En lo relativo a la radiactividad, tiene en cuenta los parámetros a los que hemos hecho referencia anteriormente e incorpora algunos otros encaminados a señalar instrucciones para el cálculo de la dosis indicativa total principalmente.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para la medida de la radiactividad en el agua de consumo se pueden utilizar diferentes técnicas dependiendo de los parámetros e isótopos que queramos determinar. Las técnicas que se emplean son las mismas independientemente de que se desee analizar el agua de consumo procedente de captaciones públicas (agua del grifo, fuentes públicas, etc...) como si se lleva a cabo la medida de la radiactividad en aguas embotelladas o comerciales.

A la luz del R. D. 140/2003 tenemos que tener en cuenta que hay 4 parámetros clave a analizar: alfa total (valor límite de 0.1 Bq l^{-1}), beta resto (valor límite de 1 Bq l^{-1}), tritio (valor límite 100 Bq l^{-1}) y dosis indicativa total (valor límite 0.1 mSv anual). Dependiendo de los resultados que obtengamos tenemos que emplear diferentes técnicas de medida: contador proporcional, espectrometría gamma, espectrometría alfa y centelleo líquido. Del mismo modo, algunos isótopos se pueden determinar utilizando varias técnicas y la decisión de usar una u otra dependerá de factores como el equipamiento disponible, límite de detección que se desee alcanzar o tiempo máximo para obtener resultados. Describimos a continuación las principales técnicas de medida empleadas para la medida de parámetros radiactivos en el agua de consumo:

Contador proporcional

Mediante un contador proporcional de flujo de gas es posible determinar los parámetros alfa y beta total, aunque en algunos casos se puede emplear para la determinación de algunos isótopos de Ra. La muestra se prepara mediante el método de evaporación para obtener un residuo seco que se deposita sobre una plancheta de aluminio con estrías. Preparada la muestra, se lleva a un desecador en el que se mantiene al menos 48 horas para que decaiga el radón. presente la muestra y sus isótopos. Al cabo de ese tiempo la muestra ya es apta para su medida. Generalmente se emplea un contador proporcional de flujo de gas con una mezcla de Argón-Metano (gas PR al 90%) con capacidad para la medida simultánea de 10 planchetas, dejando una de ellas siempre como blanco. La medida de cada plancheta permite determinar al mismo tiempo los índices alfa y beta total. Para llevar a cabo la determinación del beta resto es preciso conocer el contenido en ^{40}K

de la muestra, proceso que se lleva a cabo por métodos químicos como la espectrometría de absorción atómica.

Espectrometría gamma

Dependiendo del resultado obtenido por la técnica anterior, en ocasiones es preciso llevar a cabo una determinación de la actividad de algunos isótopos presentes en la muestra. En este caso la técnica que permite una medida más rápida de la muestra debido a que no es preciso una gran espera en su preparación es la espectrometría gamma. Para ello se emplea un espectrómetro de germanio hiperpuro (HPGe) que está refrigerado por nitrógeno líquido. La muestra se introduce en el detector utilizando una geometría para la que el detector ha sido previamente calibrado. Se pueden emplear geometrías como la Marinelli u otras adaptadas a las características de cada laboratorio. La presencia de isótopos emisores gamma se observa mediante las líneas de emisión de cada elemento y su intensidad (una vez sustraídos los valores de fondo) nos permite conocer la actividad del emisor gamma. En otras ocasiones es posible determinar elementos que no son emisores gamma pero que se encuentran en equilibrio con otros que si que emiten radiación gamma.

Centelleo líquido

Puede que a pesar de haber llevado a cabo una espectrometría gamma aún sea preciso averiguar la actividad de algunos isótopos que no es posible determinar empleando espectrometría gamma. Para ello se puede utilizar la técnica del centelleo líquido. Se trata de una técnica que tiene una eficiencia de detección cercana al 100% (situación que es diferente en las dos técnicas anteriores donde las eficiencias son mucho menores) y, sin embargo, una mala resolución de los picos que se obtienen en el espectro. En esta técnica las desintegraciones radiactivas provocan excitaciones en las moléculas del centelleador que al regresar al estado fundamental emiten un fotón. Mediante la medida de los fotones emitidos podemos determinar la actividad del isótopo en cuestión. Esta técnica se suele emplear para la medida del contenido en tritio de la muestra, aunque también es empleada para la determinación de isótopos de radio. En algunos casos, ciertos laboratorios emplean la técnica del centelleo líquido para la medida de los índices alfa y beta total.

Espectrometría alfa

La espectrometría alfa es la técnica que precisa una preparación más compleja de la muestra. Debido a que las emisiones alfa tienen un poder de penetración muy pequeño (como es sabido la radiación alfa tiene un alcance de unos pocos centímetros en el aire pudiéndose frenar fácilmente con una hoja de papel), es necesario la deposición de la muestra en una plancheta para poder introducirla en el detector a una distancia lo más corta posible. El proceso de deposición se puede realizar de diferentes maneras cuya descripción escapa del

alcance de este artículo. La espectrometría alfa tiene eficiencias del orden del 30% y sin embargo una muy buena resolución lo que permite una perfecta identificación de los isótopos emisores alfa presentes en la muestra. Podemos determinar mediante esta técnica isótopos de radio y también de uranio y torio.

RESULTADOS

Los resultados que podemos encontrar en la bibliografía a la que hemos hecho referencia anteriormente son bastante variados. Como ya se ha indicado, existen medidas de radiactividad en agua tanto procedente de captaciones públicas como de aguas comerciales o embotelladas y tanto a nivel de España como de otros países, en especial de la UE.

Nos podemos remontar al año 1992, en el que la investigación del profesor Soto mostró que algunos pueblos de la provincia de Salamanca poseían valores elevados de alfa y beta total en sus aguas potables (Soto Torres *et al.*, 1992). Se han llevado a cabo estudios en balnearios donde se han encontrado igualmente valores elevados de alfa y beta total y ^{226}Ra (Soto Torres *et al.*, 1992, Dueñas *et al.*, 1998). En el noreste de España encontramos igualmente estudios con valores altos de radiactividad en las aguas en zonas con contenidos graníticos (Ortega *et al.*, 1996, Pujol y Sánchez-Cabeza, 2000). En el año 2004, se presentó el mapa MARNa (MApa de Radiación NATural de la Península, Quindós Poncela *et al.*, 2004). Este trabajo clasifica la península en tres zonas diferentes desde el punto de vista de la dosis de radiación gamma externa de origen natural. Las zonas con los contenidos más altos corresponden a las provincias de Salamanca, Zamora, Ávila, las comunidades de Galicia y Extremadura, las sierras de Madrid, puntos en Andalucía, Cataluña y Aragón (Figura 1). Estudios más recientes llevados a cabo en Andalucía (López Peñalver *et al.*, 2007) muestran un

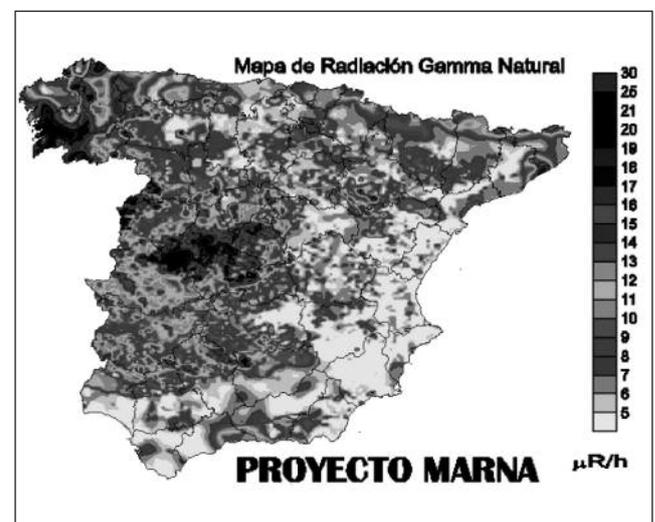


FIGURA 1. Mapa MARNa de la península ibérica.

buen acuerdo con los resultados que cabría esperar a la vista de la clasificación establecida por el mapa MARNA.

A nivel internacional encontramos también estudios de radiactividad en aguas potables. En cuanto al contenido en ^{226}Ra y ^{222}Rn encontramos estudios en Canadá (Zikovsky, 2006), Austria (Wallner y Steininger, 2007), Marruecos (Misdaq *et al.*, 2007). Este último evalúa además contenidos en ^{238}U y ^{232}Th en las aguas potables. En Italia, los trabajos de Desideri (Desideri *et al.*, 2007) han puesto de manifiesto que en las aguas comerciales se superan los valores indicados por la OMS en algunos casos en los parámetros alfa total pero no en actividad beta total.

Referente a las aguas potables es interesante el destacar también los resultados obtenidos en la campaña de medidas que llevó a cabo el CSN en colaboración con diversas universidades y cuyo informe completo se puede consultar en su página web (<http://www.csn.es>). En este documento se llevaron a cabo determinaciones de los índices alfa y beta total y también del contenido en radio empleando las técnicas antes referidas. Se encontraron valores por encima de los indicados en el R. D. 140/2003 para el índice alfa total en localidades de la provincia de Salamanca como Villar de la Yegua y Saelices el Chico. En algunos casos los valores encontrados están varias veces por encima de los indicados en el R.D. En cuanto al contenido de ^{226}Ra , en algunos casos solamente este valor estaba por encima de los 0.1 Bq l^{-1} , valor límite para la actividad alfa total.

Referente a los estudios de radiactividad en aguas comerciales encontramos abundante documentación en la literatura. En el caso español, se han realizado varios estudios para evaluar el contenido radiactivo de las aguas comerciales en diversas zonas de la península (Ortega *et al.*, 1996, Dueñas *et al.*, 1997, Martín-Sánchez *et al.*, 1999, Palomo *et al.*, 2007). Algunos de estos estudios demuestran que en las aguas comerciales también se superan los valores a los que hemos aludido anteriormente para los índices alfa total e incluso en algunos casos para el valor beta total. En la esfera internacional, existen igualmente varios trabajos sobre radiactividad en aguas comerciales. En Brasil se analizaron los valores de ^{226}Ra y ^{228}Ra , encontrándose

valores por debajo de 100 mBq l^{-1} en las aguas estudiadas (de Oliveira *et al.*, 2001, Marcus-Godoy *et al.*, 2001). En Argelia se analizó el radón y los isótopos ^{226}Ra , ^{232}Th y ^{40}K empleando diversas técnicas como detectores de trazas y espectrometría gamma (Amrani *et al.*, 2002). Otras técnicas como la espectrometría alfa también se han empleado como en el caso del análisis de 10 aguas comerciales llevado a cabo en Polonia donde se midieron contenidos de ^{238}U , ^{234}U y ^{210}Po encontrándose en todos los casos valores por debajo de 100 mBq l^{-1} (Skwarzec *et al.*, 2003). Otra técnica empleada ha sido el centelleo líquido como en el caso de Austria en el que se midieron 228 muestras de aguas embotelladas y se obtuvo una media geométrica de 37 mBq l^{-1} para el ^{226}Ra con un valor máximo de 225 mBq l^{-1} , y 1800 mBq l^{-1} de valor máximo para el ^{222}Rn con una media geométrica de 540 mBq l^{-1} (Kralik *et al.*, 2003). Se han intentado también encontrar correlaciones entre los parámetros radiactivos y otros parámetros físicos como el residuo seco siendo los resultados poco esclarecedores y diferentes en los trabajos publicados (Karamanis *et al.*, 2007, Desideri *et al.*, 2007b, Rusconi *et al.*, 2007, Dávila-Rangel *et al.*, 2002, Martín-Sánchez *et al.*, 1999, Dueñas 1997). En otros países también encontramos resultados que demuestran que se superan los valores de alfa total y beta total en países como Grecia (Karamanis *et al.*, 2007), Polonia (Kozłowska *et al.*, 2007), Hungría (Kovács *et al.*, 2004), Italia (Rusconi *et al.*, 2007). Por último indicar como curiosidad un estudio en el que se analizaba la presencia de radiactividad en refrescos en el que se encontró la presencia de elementos radiactivos (Somlai *et al.*, 2002).

Volviendo nuevamente al caso español, los trabajos llevados a cabo en la Universidad de Extremadura (Martín-Sánchez *et al.*, 1999) analizando 27 muestras de aguas comerciales mostraron un rango de valores en alfa total entre 8 mBq l^{-1} y 8400 mBq l^{-1} (recordemos el valor límite del R. D. De 100 mBq l^{-1}) y entre 15 mBq l^{-1} y 5800 mBq l^{-1} (valor límite del R. D 1000 mBq l^{-1}). En el año 2007, la Universidad de Tarragona (Palomo *et al.*, 2007) realizó un estudio en 30 aguas comerciales en la mayoría diferente a las analizadas por la Universidad de Extremadura. El rango de valores obtenido fue de 30 mBq l^{-1} y 860 mBq l^{-1} para alfa total y en el caso del índice beta total todas las muestras estaban por debajo

TABLA 1. Resultados de medidas de los índices alfa y beta total en aguas comerciales

Referencia	País	N	Alfa total			Beta total		
			Rango	Media	Mediana	Rango	Media	Mediana
Karamanis <i>et al.</i> , 2007	Grecia	16	8-94	45	41	8-94	206	192
Kozłowska <i>et al.</i> , 2007	Polonia	28	11-336	47	24	11-336	51	34
Palomo <i>et al.</i> , 2007	España	30	30-860	97	35	30-860	196	40
Kovacs <i>et al.</i> , 2004	Hungría	19	35-2600	373	110	35-2600	358	19
Rusconi <i>et al.</i> , 2004	Italia	21	3-550	98	49	3-550	160	109
Davila <i>et al.</i> , 2002	México	22	11-415	6	35	11-415	232	244
Martín-Sánchez <i>et al.</i> , 1999	España	27	8-8400	1255	220	15-5800	691	160

del valor límite. A nivel internacional podemos encontrar también resultados variados dependiendo del país al que nos estemos refiriendo. La tabla 1 muestra los resultados indicados anteriormente.

DISCUSIÓN

En la actualidad disponemos de varias herramientas en la legislación, tanto española como a nivel europeo para llevar a cabo el control de las aguas de consumo desde un punto de vista de la radiactividad. Como hemos indicado en este artículo, las aguas potables presentan en ocasiones contenidos que superan ampliamente los establecidos por el R. D. 140/2003. En el caso de las aguas comerciales, el R. D. anterior no es de aplicación. Sin embargo, el R. D. 1074/2002 si que les aplica en algunos casos y dependiendo del tipo de agua comercial del que se trate. Es por ello que existen recursos que justifican el control de la radiactividad en el agua potable. En el caso del R. D. 140/2003, ya es de aplicación obligada a las aguas potables. Los resultados ponen de manifiesto que aquellas aguas procedentes de zonas que el mapa MARNA clasifica como de alto nivel de radiación gamma externa debido a la presencia de radionucleidos de origen natural son potencialmente candidatos a tener niveles de radiactividad elevados. Lo mismo ocurre para las aguas comerciales que proceden de captaciones llevadas a cabo en estas zonas con altos niveles de radiactividad natural. Cuando se encuentra que una muestra de agua presenta valores por encima de los establecidos se debe proceder con análisis adicionales Si después de todos los análisis se encuentra que esa muestra de agua posee unos niveles superiores a los establecidos en la legislación, es posible aplicando diversas técnicas el reducir su contenido radiactivo.

BIBLIOGRAFÍA

- National nuclear data center. Disponible en: <http://www.nndc.bnl.gov/>.
- Rusconi R, Forte M, Abbate G, Gallini R, Sgorbati G. Natural radioactivity in bottled mineral waters: A survey in Northern Italy. *Journal of Radioanalytical and nuclear chemistry* 2007; 260:421-7.
- European Council Directive 98/83/EC. On the quality of water intended for human consumption. 1998.
- Real Decreto 1074/2002 (2002) por el que se establece el proceso de elaboración, circulación y comercio de aguas de bebida envasadas.
- Real Decreto 140/2003 (2003) por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality: incorporating first addendum. Vol. 1, recommendations. 3rd ed 2006.
- Soto J, Fernández P, Quindós LS, Gómez-Arozamena J. Radioactivity in Spanish spas. *The Science of the Total Environment* 1995; 162:187-92.
- Dueñas C, Fernández M, Enríquez C, Carretero J, Liger E. Natural radioactivity levels in Andalusian spas. *Water Research* 1998; 32(8):2271-8.
- Ortega X, Vallés I, Serrano I. Natural radioactivity in drinking water in Catalonia (Spain). *Environment International* 1996; 22(Suppl. 1):347-54.
- Pujol L, Sánchez-Cabeza J. Natural and artificial radioactivity in surface waters of the Ebro river basin (Northeast Spain). *Journal of Environmental Radioactivity* 2000; 51:181-210.
- Quindós Poncela LS, Fernández PL, Gómez Arozamena J, Sainz C, Fernández JA, Suárez Mahou E, Martín Mataranz JL, Cascón MC. Natural gamma radiation map (MARNA) and indoor radon levels in Spain. *Environment International* 2004; 29:1091-6.
- López Peñalver J, González Gómez C, Ferro García M. Calidad radiológica del agua potable de la ciudad de Granada (in Spanish). *Tecnología del agua* 2007; 282:42-5.
- Zikovsky L. Radium in drinking water in Quebec, Canada. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2006; 267:691-3.
- Wallner G, Steininger G. Radium isotopes and ²²²Rn in Austrian drinking waters. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 2007; 274:511-6.
- Misdaq MA, Ouabi H, Merzouki A. Analysis of radon, uranium 238 and thorium 232 in potable waters: Dose to adult members of the moroccan urban population. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 2007; 263:105-11.
- Desideri D, Meli M. A, Feduzi L, Roselli C, Rongoni A, Saretta D. ²³⁸U, ²³⁴U, ²²⁶Ra, ²¹⁰Po Concentrations of bottled mineral waters in Italy and their dose contribution. *Journal of Environmental Radioactivity* 2007a; 94:86-97.
- Dueñas C, Fernández MC, Liger E, Carretero J. Natural radioactivity levels in bottled water in Spain. *Water Research* 1997; 31:1919-24.
- Martín-Sánchez A, Rubio-Montero MP, Gómez-Escobar V, Jurado-Vargas M. Radioactivity in bottled mineral waters. *Applied Radiation and Isotopes* 1999; 258 50:1049-55.
- Palomo M, Peñalver A, Borrull F, Aguilar C. Measurement of radioactivity in bottled drinking water in Spain. *Applied Radiation and Isotopes* 2007; 65:1165-263 1172.
- de Oliveira J, Paci-Mazzilli B, da Costa P, Akiko-Tanigava P. Natural radioactivity in Brazilian bottled mineral waters and consequent doses. *Journal of Radioanalytical and nuclear chemistry* 2001; 249:173-6.
- Marcus-Godoy J, C da S. Amaral C, D P Godoy. Natural radionuclides in Brazilian mineral water and consequent doses to the population. *Journal of environmental radioactivity* 2001; 53:175-82.
- Amrani D. Natural radioactivity in algerian bottled mineral waters. *Journal of Radioanalytical and nuclear chemistry* 2002; 252:597-600.
- Skwarzec B, Strmi ska D, Borylo A. Radionuclides of ²¹⁰Po, ²³⁴U and ²³⁸U in drinking bottled mineral water in Poland. *Journal of Radioanalytical and nuclear chemistry* 2003; 256:361-4.
- Kralik C, Friedrich M, Vojir F. Natural radionuclides in bottled water in Austria. *Journal of environmental radioactivity* 2003; 65:233-41.
- Karamanis D, Stamoulis K, Ioannides KG. Natural radionuclides and heavy metals in bottled water in Greece. *Desalination* 2007; 213:90-7.
- Desideri D, Roselli C, Feduzi L, Meli MA. Radiological characterization of drinking waters in central Italy. Mi-

- crochemical Journal 2007b; 87:13-9.
27. Rusconi R, Forte M, Abbate G, Gallini R, Sgorbati G. Natural radioactivity in bottled mineral waters: A survey in Northern Italy. Journal of Radioanalytical and nuclear chemistry 2007; 260:421-7.
 28. Dávila-Rangel JL, López del Río H, Mireles-García F, Quirino-Torres LL, Villalba ML, Comenero-Sujo L, Montero-Cabrera ME. Radioactivity in bottled waters sold in Mexico. Applied Radiation and Isotopes 2002; 56:931-6.
 29. Kozłowska B, Walencik A, Dorda J, Przylibski. Uranium, radium and 40K isotopes in bottled mineral waters from outer Carpathians, Poland. Radiation Measurements 2007; page doi:10.1016/j.radmeas.2007.03.004.
 30. Kovács T, Bodrogi E, Dombóvári P, Somlai J, Németh C, Capote A, Tarján S. 238U, 226Ra and 210Po concentrations of bottled mineral waters in Hungary and their committed effective dose. Radiation Protection Dosimetry 2004; 247 108:175-81.
 31. Somlai J, Horváth G, Kanyár B, Kóvacs T, Bodrogi E, Kávási N. Concentration of 226Ra in Hungarian bottled mineral water. Journal of Environmental Radioactivity 2002; 62:235-40.

SOCIEDAD ESPAÑOLA



DE SANIDAD AMBIENTAL

SESA: UN FORO DE INVESTIGACIÓN Y DEBATE

La Sociedad Española de Sanidad Ambiental se constituyó con el objetivo prioritario de servir de foro para agrupar a las personas físicas o jurídicas, cuyas actividades profesionales o científicas se desenvuelven en el campo de la Sanidad Ambiental. Su finalidad es favorecer el intercambio de conocimientos en los campos de la investigación, gestión, formación de personal o cualquier otro que contribuya al desarrollo y difusión de la Sanidad Ambiental.

Con independencia, objetividad y profesionalidad, la SESA quiere comprometerse con la sociedad española a dar una respuesta científica a los rápidos cambios que se producen en el campo de la Salud y Medio Ambiente, tan necesitado de foros de exposición, intercambio y comunicación, centrándose en el estudio e identificación de los factores de riesgo ambientales y los efectos sobre la salud, aportando soluciones realistas y efectivas.

¿QUÉ ACTIVIDADES DESARROLLA LA SESA?

- Grupos de trabajo
- Jornadas científicas
 - Seminarios
 - Mesas redondas
- Revista de Salud Ambiental
- Información y estudios de Sanidad Ambiental

¿CÓMO PUEDES ASOCIARTE?

Dirigiéndote a la secretaría técnico-administrativa de la SESA:
MasterCongresos S. L.
C/ Ramón y Cajal 5 · 28100, Alcobendas (MADRID)
Telf.: 911 10 37 53
sesa@mastercongresos.com