



› Antonio Baeza Espasa^[1],
 José Ángel Corbacho Merino^[1],
 Montserrat Llauredó Tarragó^[2],
 Isabel Vallés Murciano^[3]

Dificultades existentes en la medida de la actividad alfa total en muestras de agua

Las mediciones de actividad alfa presente en las aguas ofrece con frecuencia una gran diversidad de resultados, tanto por las diferentes características del agua en función de variables naturales como de los procedimientos y técnicas aplicados en dichas mediciones. Para abordar este problema, los laboratorios representados por los autores de este artículo realizaron un proyecto de investigación experimental, que analizó en profundidad tres tipos de procedimientos o técnicas seleccionados (deseccación, coprecipitación y evaporación) y tres técnicas de medida (contador proporcional, detectores de centelleo sólido y detectores de centelleo líquido). Presentan aquí un breve resumen de los resultados de su trabajo.

Parece hasta cierto punto paradójico hablar de dificultades en la determinación de la actividad de las partículas alfa emitidas por un material que puede parecer relativamente simple, como es el agua, máxime cuando la medida precisa de este tipo de radiaciones, constituyó, ya en 1909, la determinación experimental^[1] que permitió a Sir Ernest Rutherford formular su modelo atómico, que sin duda constituye una de las aproximaciones más intuiti-

vas y didácticas a la cuestión de cómo podría estar estructurada a nivel microscópico la materia.

La pregunta que surge es si realmente aún hoy en día subsiste algún tipo de dificultad en llevar a cabo la medida de la actividad alfa en muestras ambientales, como son las aguas. Dos son las respuestas a la misma.

La primera dificultad estriba en el propio material que emite la radiación alfa a medir, el agua. Aunque se ha indicado



Contadores de centelleo sólido

[1] LARUEX, Universidad de Extremadura

[2] LRA, Universitat de Barcelona

[3] INTE, Universitat Politècnica de Catalunya

Figura 1

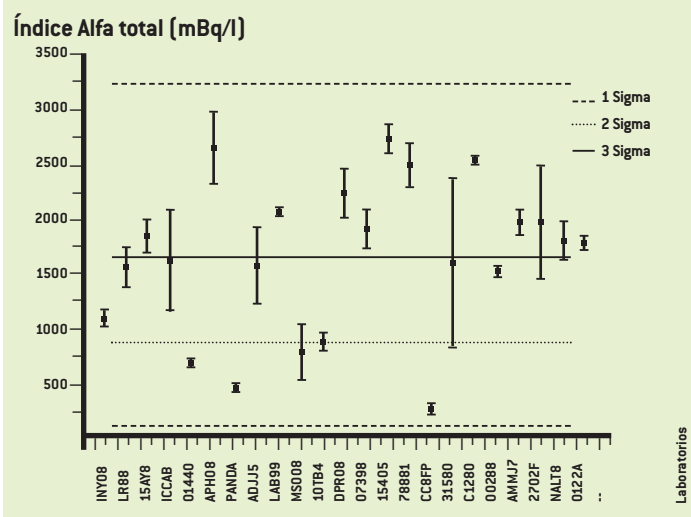
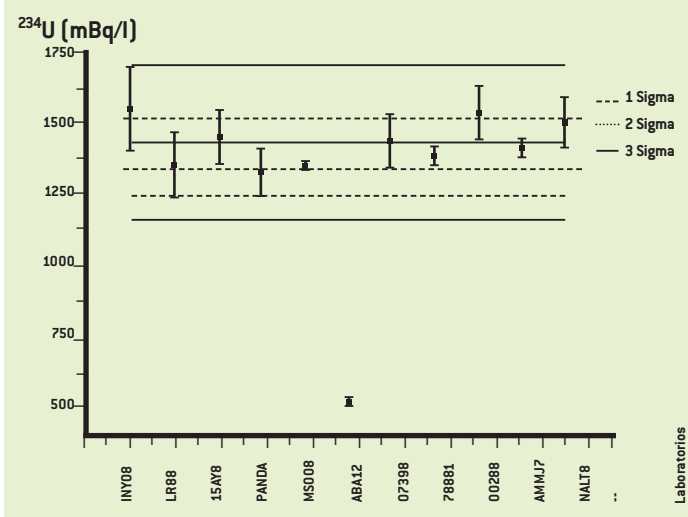


Figura 2



Resultados de la Intercomparación LARUEX-2008 para (figura 1) la actividad alfa total y (figura 2) para la actividad del isótopo ^{234}U .

su relativa simplicidad, al compararlo con la composición de otros materiales ambientales, esta no deja de ser muy variopinta, existiendo una amplia variedad de tipos de aguas naturales^[2], como consecuencia de las posibles concentraciones en que están presentes los aniones (cloruros, sulfatos, nitratos, entre otros) y los cationes mayoritarios (sodio, potasio, calcio, magnesio, entre otros). Este hecho tiene a su vez una doble consecuencia desde la óptica de la emisión y de la detección de las partículas alfa. Por una parte, emparejada a dicha composición de cationes mayoritarios, existe otra de cationes minoritarios radiactivos, asimismo *a priori* muy variable. Esta concentración radiactiva en las aguas, depende fundamentalmente de la existente en los medios por dónde atraviesan y de la capacidad que estas tengan para disolver las sales radiactivas que contengan dichos medios. En consecuencia, pueden existir aguas con actividades mesurables para los isótopos de uranio, o de radio, o de polonio, o de torio, entre otros, y obviamente, con diversas combinaciones de varios de los citados elementos radiactivos. Además, esta disparidad en la composición radiactiva, conlleva que los espectros de

emisión de las partículas alfa puedan ser también muy variables y en muchos casos, extraordinariamente complejos. Esta variabilidad energética del espectro alfa emitido por las muestras de agua, es la segunda consecuencia destacable. Así, la medida de la actividad alfa total es una medida global de, en principio, todas las partículas alfa emitidas desde una muestra de agua y que impactan en el detector. Dado que de unas aguas a otras puede cambiar su composición radiactiva y a su vez la concentración que posean para sus iones mayoritarios, la fracción de partículas alfa que, tras ser emitidas desde el agua, es finalmente detectada, depende del agua concreta de que se trate, debido a:

I) La diferente autoabsorción que experimentan las partículas alfa al atravesar muestras de agua con composiciones mayoritarias distintas;

II) La diferente característica energética del espectro que incide sobre el detector. Todo ello afecta en consecuencia a la eficiencia de la detección de la citada actividad alfa total.

La segunda dificultad es la falta de definición de que, salvo en contadas excepciones^[3], adolecen la práctica totalidad de procedimientos^[4,5,6], normalizados o

no, diseñados para describir la preparación y medida de la actividad alfa en muestras de agua. Realmente, los procedimientos diseñados para la preparación de las muestras de agua para su medida alfa total, pueden calificarse de muy sencillos, al compararlos con los que normalmente se utilizan para la medida espectrométrica de cualquiera de los emisores alfa presentes en esas mismas muestras de agua. Por lo que a los procedimientos de preparación se refiere, estos se fundamentan en la concentración por calor de un volumen dado de agua, hasta su desecación total^[4] o hasta conseguir una reducción significativa de volumen^[6], para llevar a cabo respectivamente su medida, ya sea directa ya sea tras su mezcla con el adecuado líquido de centelleo. Otro de los procedimientos se basa en la coprecipitación de todos los emisores alfa presentes en la muestra de agua^[5], antes de la medida de dicho precipitado. Esa carencia de concreciones, en aspectos fundamentales de la preparación, tanto de las muestras, como de los respectivos patrones de calibrado y del modo y momento en que medir a unas y a otros, son los principales causantes de que cuando se determina la actividad alfa total en muestras de aguas rea-



Contador de centelleo líquido

les, con contribuciones al recuento alfa de más de un elemento radiactivo, la predicción de dicha actividad que pueden obtener diversos laboratorios expertos en este tipo de determinaciones puede variar incluso en algún orden de magnitud.

Un ejemplo de la anterior afirmación la constituye los resultados obtenidos por 24 laboratorios españoles, que participaron en un ejercicio de intercomparación organizado por el Ejercicio de Intercomparación entre Laboratorios (LARUEX)^[7], entre cuyos objetivos se encontraba el de predecir el contenido radiactivo alfa total y para el isótopo ^{234}U ,

existente en una muestra de agua subterránea natural, recolectada en la Comunidad Autónoma de Extremadura. En las figuras 1 y 2 se muestran de modo resumido las predicciones efectuadas por los laboratorios cuyas claves se indican, muchos de ellos acreditados por ENAC para efectuar tanto la determinación de la actividad alfa total (1), como para la del isótopo ^{234}U (2). De su observación pueden deducirse claramente diversos resultados:

I) La gran dispersión de valores con que se predice la actividad alfa total existente en el agua analizada. En particular, el valor medio de la actividad pre-

dicha por todos los laboratorios es de 1.680 mBq/l, siendo su desviación estándar robusta de un 46%.

II) Que dicha dispersión es muy superior a la asociada a las otras determinaciones espectrométricas alfa realizadas en la misma intercomparación. De hecho, para el caso particular del ^{234}U , salvo para un laboratorio, que claramente ha tenido algún problema en dicha determinación, se observa fácilmente que los valores predichos por los restantes laboratorios están mucho más agrupados que en la predicción alfa total, a pesar de la mayor dificultad técnica que encierra la preparación y medida de una muestra de agua, para determinar la actividad del ^{234}U . En concreto, el valor medio ofrecido por todos los laboratorios para la actividad del ^{234}U fue de 1.430 mBq/l, con una desviación estándar robusta de tan sólo el 6%. Por último, debe señalarse que aun cuando la actividad alfa total debe representar la suma de las actividades de todos los emisores radiactivos alfa presentes en la muestra de agua así analizada, con mucha frecuencia y debido a las causas y dificultades antes apuntadas, puede no obtenerse este resultado. En concreto, los niveles de actividad para los principales emisores radiactivos alfa existentes en esta agua, fueron además del ya citado para el ^{234}U , los siguientes: $A(^{238}\text{U}) = (240 \pm 20(\text{DS}))$ mBq/l, $A(^{226}\text{Ra}) = (400 \pm 100(\text{DS}))$ mBq/l; $A(^{210}\text{Po}) = (16,4 \pm 1,4(\text{DS}))$ mBq/l. De esta forma puede comprobarse que el valor medio predicho para la actividad alfa total fue al menos un 20% inferior a la actividad de los emisores alfas realmente presentes en dicha muestra de agua.

En definitiva y debido a las causas y/o dificultades antes enumeradas, la determinación de la actividad alfa puede frecuentemente estar aquejada de dos problemas fácilmente calificables de importantes. Uno es que los valores que



Contador proporcional de flujo de gas

predicen diferentes laboratorios pueden diferir entre sí mucho más que las incertidumbres asociadas a cada una de dichas medidas, y el otro, que la actividad que se predice puede diferir significativamente de la realmente existente en el agua analizada.

Si dichos problemas son de suficiente envergadura en cualquier aspecto relacionado con la metrología de radiaciones ionizantes, cobran una especial importancia en la medida de la actividad alfa en muestras de agua, desde el momento en que esta medida es legalmente utilizada^[8] para discernir entre aguas cuyo contenido radiactivo debe considerarse despreciable^[9], de aquellas otras en las que, al superar el nivel paramétrico alfa total establecido en la legislación^[8,9], cuando menos debe determinarse la dosis indicativa total que supone el consumo de estas aguas.

Planteamiento de la investigación

Con el fin de contribuir a resolver los precitados problemas, investigadores de tres laboratorios acreditados (en base a la norma UNE-ISO 17025^[10]) para lle-

var a cabo este tipo de ensayos, el LRA de la Universitat de Barcelona, el INTE de la Universitat Politècnica de Catalunya y el LARUEX de la Universidad de Extremadura, plantearon en 2009 al Consejo de Seguridad Nuclear, la ejecución de un proyecto de investigación titulado “Estudio de la problemática existente en la determinación del índice de actividad alfa total en aguas potables. propuesta de procedimientos”^[11].

Tres fueron los principales objetivos perseguidos con su ejecución, para los también tres tipos de procedimientos y/o de técnicas más frecuentemente utilizados en la determinación de la actividad alfa total en muestras de agua:

—Determinar y cuantificar los factores que más influyen en la variabilidad con que vienen afectados los resultados que se obtienen.

—Analizar y valorar en su integridad los tres tipos de procedimientos más frecuentemente utilizados: desde la preparación de las muestras, hasta su medida, desde el uso de los patrones, a la medida de los fondos, entre otros muchos aspectos.

—Determinar para los tres tipos de

procedimientos o técnicas seleccionados, sus rangos de validez, sus ventajas e inconvenientes, y la repercusión que podría tener la modificación parcial de los mismos, con respecto a las descripciones procedimentales actualmente en uso.

En definitiva, se proponía la ejecución de un proyecto de investigación eminentemente experimental, que analizase en profundidad los tres tipos de procedimientos o técnicas inicialmente seleccionados. Dichos procedimientos se identifican brevemente como de desecación, de coprecipitación y de evaporación. Por su parte, las técnicas de medida utilizadas con las fuentes preparadas con los precitados procedimientos, fueron la de contador proporcional, la de detectores de centelleo sólido y la de detectores de centelleo líquido, respectivamente. Como consecuencia de todo ese bagaje experimental, se debía estar finalmente en situación de proponer una serie de procedimientos derivados de los actualmente existentes, pero sumamente detallados y justificados en todos sus puntos, que permitieran garantizar:

—Que con su aplicación los resultados que se obtienen para determinar la actividad alfa total en muestras de agua son los más representativos de la suma de las actividades de todos los emisores alfa que realmente poseen las muestras analizadas.

—Que ese resultado de la actividad alfa total está aquejado de la mínima variabilidad técnicamente posible.

—Que la citada variabilidad remanente, es correctamente tenida en cuenta, en la determinación de la incertidumbre asociable al resultado obtenido.

Investigación desarrollada

Dado que es imposible describir con detalle en este artículo, aunque fuera muy someramente, las actividades y resultados que se han obtenido en la ejecución del citado proyecto, se recomienda al lec-

tor interesado en el mismo, que consulte el informe final elevado al respecto al Consejo de Seguridad Nuclear^[11]. No obstante lo anterior, a continuación se van a destacar las pautas seguidas en la investigación y las principales conclusiones obtenidas.

En primer lugar debe indicarse que, por razones de operatividad, inicialmente los investigadores de cada uno de los tres laboratorios se encargaron del estudio en profundidad y de la optimización de exclusivamente una de las tres técnicas seleccionadas. Así, los investigadores pertenecientes al LARUEX se centraron en el método de desecación total y en la posterior medida con contador proporcional. Los del INTE, en el método de coprecipitación y en la posterior medida con contador de centelleo sólido. Y los del LRA, en el método de reducción de volumen por evaporación y en la posterior medida por centelleo líquido. Cada uno de estos tres procedimientos o técnicas de medida, poseen unas ventajas y unos inconvenientes frente a los otros dos. Así, el de desecación total es un método relativamente económico y ampliamente usado, que permite determinar de forma simultánea las actividades alfa y beta total presentes en la muestra de agua analizada. Por su parte, el método de coprecipitación permite obtener con frecuencia menores límites de detección que con la anterior técnica, la cual es de hecho impracticable para aguas muy salinas, a costa de no poder aportar ninguna información sobre la actividad beta de la muestra de agua analizada. Por último, el método de evaporación permite no solo la determinación simultánea alfa y beta, sino también la observación visual de los espectros que producen dichas detecciones, con lo que este hecho puede colaborar positivamente a la interpretación de los resultados que se obtengan. Sin embargo, el elevado coste de la instrumentación necesaria, retrae frecuentemente su utilización.

Una vez analizado en profundidad cada uno de los citados procedimientos de preparación y de medida, las metodologías resultantes fueron optimizadas mediante el uso de un agua sintética común a los tres laboratorios. Dicha agua se fabricó de manera tal que su contenido para los principales aniones y cationes mayoritarios normalmente presentes en las aguas (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) permitiera clasificarla como un agua de naturaleza mixta^[2]. Al agua sintética se le incorporaron actividades bien conocidas, siempre similares a las que pueden, frecuentemente, encontrarse en aguas recolectadas en España, para los siguientes radionucleidos o combinaciones de los mismos: ^{210}Po , ^{226}Ra y U-natural. Con la predicción de las actividades alfa total incorporadas a las muestras sintéticas analizadas, se lograron acotar los aspectos que resultaron ser más influyentes, tanto en la parte de preparación, como en la de medida de estas muestras, de forma que permitiesen obtener la mejor reproducción posible de las actividades incorporadas en cada caso al agua sintética. Con el fin de verificar que las condiciones de trabajo que finalmente se seleccionaron, para cada uno de los tres métodos estudiados, no respondían exclusivamente a las condiciones radiactivas singulares que se habían incorporado a las aguas sintéticas analizadas, se utilizaron además ocho aguas naturales procedentes de diversos puntos de España (cuatro superficiales y cuatro subterráneas), que cubren un amplísimo espectro de los contenidos estables y radiactivos naturales que se detectan en las mismas. De hecho, sus salinidades se encontraban en el rango de 0,4 a 5 g/l, y a modo de ejemplo, los rangos de sus niveles radiactivos para el U-natural eran de 0,02 a 6,0 Bq/l, mientras que para el ^{226}Ra eran de 0,002 a 0,5 Bq/l^[11]. El resultado obtenido fue que para esta ocho aguas naturales se obtuvo una adecuada predicción alfa total de la suma de

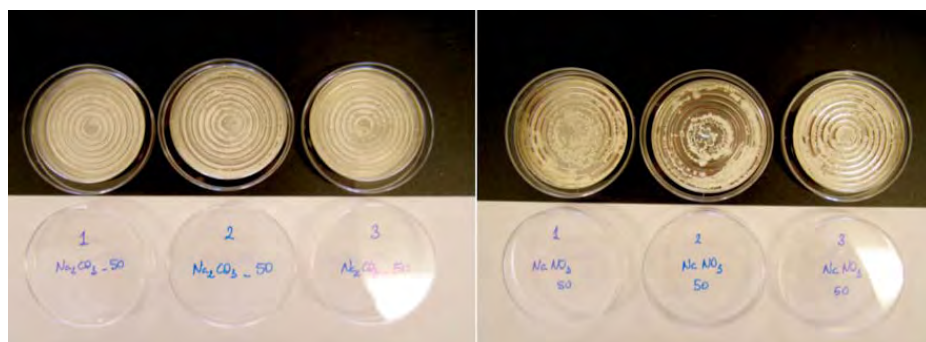
las principales actividades alfa presentes en las mismas.

Por último, se planteó verificar que las condiciones de trabajo que los investigadores de cada uno de los tres laboratorios habían encontrado para el procedimiento del que se habían responsabilizado eran fácilmente aplicables por cualquier otro laboratorio experto en este tipo de medidas. Para ello, se procedió a llevar a cabo un trabajo cruzado con los procedimientos finalmente propuestos. Es decir, a utilizar cada laboratorio con las citadas ocho aguas naturales, los dos procedimientos que no habían analizado y en su caso modificado parcialmente, siguiendo esmeradamente la descripción que se propone para cada uno de ellos en los anexos 10.5 a 10.7 del informe final entregado al Consejo de Seguridad Nuclear^[11]. La conclusión de esta parte del proyecto fue, que era perfectamente posible el obtener resultados de calidad equivalente a la proporcionada por el laboratorio que había propuesto cada uno de los procedimientos optimizados.

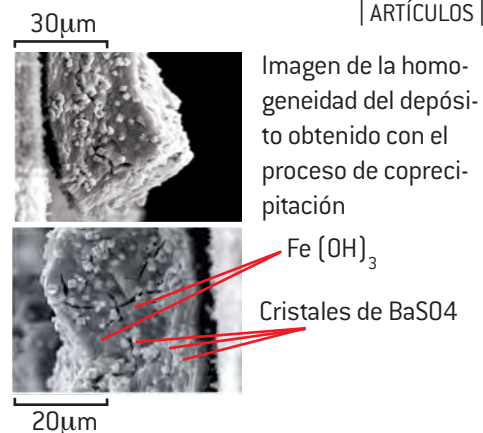
Seguidamente, se enumeran para cada uno de los tres procedimientos analizados en profundidad y posteriormente optimizados, aquellos aspectos, tanto de su preparación como de su medida, que más influyen en la variabilidad de los resultados obtenibles y en la exactitud de los mismos.

Para el procedimiento de desecación total y posterior medida del residuo mediante contadores proporcionales de flujo de gas, dichas fuentes de variabilidad en los resultados, se localizaron preferentemente en:

a) La selección del volumen de muestra a concentrar, ya que este debe ser lo suficientemente grande para superar el límite de detección pero, a su vez, lo suficientemente pequeño para tener valores de autoabsorción razonables. En todo caso, con valores del espesor másico den-



Vista de un patrón alfa incorporado a diferentes sustratos salinos en las planchetas



tro del intervalo de espesores para el que se ha llevado a cabo la calibración en eficiencia de los contadores de medida. Por ello, no es recomendable la aplicación de este procedimiento en aguas marinas.

b) La adecuada elección del sustrato sobre el que incorporar el patrón de calibrado en eficiencias. En el presente proyecto se ha identificado que este debe satisfacer una serie de requerimientos, que a priori son relativamente difíciles de satisfacer:

—Debe poseer características muy similares al residuo seco que se obtiene al llevar a sequedad cada muestra de agua, ya que es relativamente variable y a priori desconocido;

—Debe distribuirse homogéneamente en el interior de las planchetas de medida;

—No debe producir *escamas* ni desprenderse de las planchetas con facilidad;

—Debe ser estable en el tiempo y por tanto, relativamente poco higroscópico.

c) La existencia de radionucleidos que por sus características químicas son volátiles durante la preparación de la muestra, como sucede con el ^{210}Po , producirá en tales casos predicciones de la actividad alfa total inferiores a la suma de todos los emisores alfa existentes en las muestras analizadas.

d) La selección del patrón de calibrado debe poseer un espectro energético lo más parecido posible al de las muestras

a medir, el cual se desconoce y además puede variar notablemente de una a otra muestra de agua. A pesar de ello, se ha comprobado que patrones de calibrado de ^{230}Th y/o de $^{\text{nat}}\text{U}$ poseen un espectro energético bastante similar al que se detecta en la gran mayoría de las muestras de agua potable de España con contenidos radiactivos mesurables de emisores alfa naturales.e)

e) La elección del momento más adecuado para efectuar la medida de la fuente fabricada, ya que la eventual presencia de radio, de radón y de sus descendientes en la muestra de agua a analizar, provoca que el contaje pueda variar significativamente a lo largo del tiempo. En el presente estudio se ha observado que, en tales casos, lo más adecuado es realizar las medidas de las muestras dentro de la ventana temporal de 48 a 120 horas tras su preparación.

Para el procedimiento de coprecipitación y posterior medida del residuo mediante contadores de centelleo sólido, dichas fuentes de variabilidad en los resultados, se localizaron preferentemente en:

a) La selección de unas condiciones de trabajo tales que se pueda garantizar que, dentro de las incertidumbres experimentales, la totalidad de los radionucleidos emisores alfa presentes en la muestra de agua son precipitados con un rendimiento del 100%. En particular, es importante fijar al respecto el valor del

pH y de la temperatura a la que llevar a cabo la coprecipitación.

b) El limitar al máximo, durante la preparación de las muestras, tanto las pérdidas excesivas (y, sobre todo, las no cuantificables, por ejemplo en la etapa de filtración) como el secado inadecuado del filtro producido. El tener en cuenta estas variables, y las citadas en el punto anterior, permite garantizar la estabilidad temporal del precipitado, así como la homogeneidad final del mismo; aspectos éstos de gran importancia a la hora de cuantificar el contenido alfa total en las muestras de agua.

c) De nuevo, dos aspectos ya citados en el método de desecación antes descrito. Estos son, la selección adecuada del patrón de calibrado en eficiencias y la elección del momento más adecuado para proceder a la medida de la fuente. El objetivo perseguido con ambos es que el contenido radiactivo que se prediga a partir del índice de actividad alfa total sea lo más aproximado posible al que resulta de la suma de las actividades alfa de todos los emisores alfa presentes en las aguas analizadas. Las conclusiones y recomendaciones que se obtienen al respecto, para el método de coprecipitación, son análogas a las ya indicadas en el procedimiento de desecación:

—Realizar la medida de las muestras unas 48 horas tras la preparación de la misma y

—Utilizar al ^{230}Th como patrón de calibrado en eficiencias.

La reproducción que se consigue con este procedimiento, una vez optimizado teniendo en cuenta todas las anteriores fuentes de variabilidad, para las ocho aguas naturales finalmente ensayadas, puede calificarse de muy satisfactoria, ya que la desviación máxima detectada, entre el contenido predicho entre el índice alfa total y la suma de todas las actividades de emisores alfa, es de un 20%.

d) Un aspecto positivo de la evolución temporal que se observa en los contajes alfa totales que presentan las muestras de agua que poseen un contenido no despreciable de ^{226}Ra (consecuencia también del relativamente menor límite de detección que este procedimiento posee, al compararlo con el de desecación y posterior medida en un contador proporcional), es que la medida en diversos momentos de la muestra, entre dos a diez días tras su fabricación, permite deducir la existencia o no en la misma de un contenido no despreciable para el ^{226}Ra , e incluso estimar el porcentaje de su actividad sobre la actividad alfa total de la muestra.

Para el procedimiento de reducción de volumen por evaporación y posterior medida por centelleo líquido, dichas fuentes de variabilidad en los resultados, se localizaron preferentemente en:

—El agente ácido a utilizar y el valor final del pH de la muestra antes de su concentración por evaporación, ya que ambos parámetros influyen significativamente en minimizar la interferencia de los contajes alfa y beta.

—El cóctel de centelleo que se utiliza. Normalmente, cada tipo de espectrómetro de centelleo líquido lleva prácticamente asociado el uso de un líquido de centelleo recomendado por el fabricante del equipo. No obstante, debe verificarse sistemáticamente que, aunque no cambie de denominación comercial, no varían tampoco sus propiedades químicas.

—La temperatura de concentración por evaporación, de forma que, además de eliminar el contenido en radón que pueda poseer la muestra acuosa a analizar, se pueda estar seguro de que con ella no se evapora ninguno de los radionucleidos de interés presentes en la muestra de agua.

—De nuevo, al igual que se ha señalado en los anteriores dos procedimientos, los resultados que se obtienen en la medida de la fuente fabricada al mezclar en proporciones dadas el agua concentrada con el líquido de centelleo seleccionado, son altamente dependientes de:

a) El momento en que se lleve a cabo dicho contaje y

b) Los patrones que se utilicen para el calibrado del equipo.

Ambos aspectos han sido analizados con detalle, proponiendo al respecto que las muestras se midan inmediatamente después de su preparación y que para el modelo de espectrómetro y del cóctel de centelleo utilizado, los patrones alfa y beta más adecuados son el ^{236}U - ^{40}K .

—Al igual que se indicaba para el procedimiento de coprecipitación, en este se ha verificado que, realizando sucesivas medidas de la muestra de agua tras su preparación, es posible obtener, además del valor del índice de actividad alfa total, la actividad del ^{226}Ra que pueda existir en la misma, supuesto que esta no sea despreciable. ©

Referencias

- [1] E. Rutherford, F.R.S., University of Manchester. "The Scattering of α particles by Matter and the Structure of the Atoms". *Philosophical Magazine*, 21(1911)669-688.
- [2] Catalán Lafuente J.G. *Química del agua*, Ed. el autor, 2ª ed., Madrid, Spain, 1990.
- [3] ISO (International Organization of Standardization), 2005. Water Quality - Measurement of gross alpha activity in non-saline water - Thick source method. ISO TC 147 N 0588 ISO/CD 9696 (E). Geneva: International Organisation for Standardisation.
- [4] EPA (Environmental Protection Agency) 600/4-80-032. 1980. Prescribed procedures for measurement of radioactivity in drinking water. Gross alpha and gross beta radioactivity in drinking water, Method 900.0, Environmental Protection Agency.
- [5] EPA (Environmental Protection Agency) 520/5-84-006. 1984. Radiochemical determination of gross alpha activity in drinking water by coprecipitation, Method 00-02, In: Radiochemistry Procedures Manual, Eastern Environmental, Radiation Facility, Environmental Protection Agency. Modified in August 1987.
- [6] Sanchez-Cabeza, J.A. y L. Pujol. "A rapid method for the simultaneous determination of gross alpha and beta activities in water samples using a low background liquid scintillation counter". *Health Phys.* 68(1995)674-82.
- [7] Ejercicio de Intercomparación entre Laboratorios. LARUEX-2008. Informe Final: LARUEX-07-01.
- [8] Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Boletín Oficial del Estado nº 45 de 21 de febrero del 2003, 7228-7245.
- [9] Protocolo para el Control de la Radiactividad en el Agua de Consumo Humano. Subdirección General de Sanidad Ambiental y de Salud Laboral. Ministerio de Sanidad y Consumo. Versión 6. Octubre 2004. Madrid.
- [10] ISO/IEC 17025:2005. "Requisitos Generales para la Competencia de los Laboratorios de Ensayo y de Calibración". Norma Internacional 2005.
- [11] http://www.csn.es/index.php?option=com_kunena&view=listcat&Itemid=715%E2%8C%A9%3Des&lang=es.