

# Vigilancia radiológica del agua (I)

M<sup>a</sup> ANGELES DE PABLO SANMARTÍN (\*)

**RESUMEN** En este artículo se presentan de forma resumida las características de las Redes de Vigilancia Radiológica Ambiental (RVRA) actualmente en funcionamiento en el CEDEX. Estas redes son: la RVRA de las Aguas Continentales Españolas, la RVRA de las Aguas Costeras Españolas y la Red de Alta Sensibilidad en aguas continentales y marinas. También se presenta la Vigilancia Radiológica de las Aguas de Consumo Humano que el CEDEX lleva a cabo en las aguas de consumo público gestionadas por el Canal de Isabel II (CYII) y por la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (M.C.T). Así mismo se realiza una reseña breve de la legislación aplicable en cada caso. Dada su extensión el artículo se ha dividido en dos partes. En la primera parte se presenta la RVRA de las Aguas Continentales Españolas y en la segunda el resto de las RVRA.

## FALTA TITULO EN INGLES

**ABSTRACT** *This paper summarizes the characteristics of the Environmental Surveillance Radiological Networks (ESRN) currently operating in CEDEX. These networks include: Spanish Continental Waters ESRN, Spanish Coastal Waters ESRN and the High Sensitivity Network in Continental and Marine Waters. It also presents the Radiological Surveillance of Drinking Waters that CEDEX carries out in waters of public consumption managed by the Canal de Isabel II (CYII) and by the Mancomunidad de los Canales del Taibilla (M.C.T). The legislation applicable in each case is reviewed as well. The paper has been divided in two parts due to its extension. In the first part, it presents the Spanish Continental Waters ESRN and in the second one the others ESRN.*

**Palabras clave:** Calidad del agua, Redes de vigilancia, Radiología del agua.

## 1. INTRODUCCIÓN

La vigilancia radiológica del agua tiene como objeto conocer, evaluar e informar sobre los parámetros radiológicos que permitan a los órganos competentes de la Administración tomar, con conocimiento de causa, las medidas necesarias para salvaguardar el bien público.

La vigilancia radiológica de las aguas supone no sólo la medida de determinados parámetros radiológicos sino también su interpretación; de forma que la información llegue de forma adecuada, en cantidad y calidad, a los organismos de control.

La medida del agua siempre se realiza en un contexto que el técnico debe estudiar y conocer con el fin de poder interpretar adecuadamente el resultado de las medidas.

Por ejemplo, al estudiar el gráfico histórico del Índice de actividad beta total y beta resto en el punto de muestreo del Tajo denominado ATA-22 Villalba –Guadarrama (Figura 1), se observa que a lo largo de los años sistemáticamente se repite la secuencia, de un incremento estacional del Índice de actividad beta total. Ello es debido a que Villalba es una ciudad de unos 50.000 habitantes situada a 40 Km. de Madrid, en la Sierra Norte, pero en verano su población se multiplica considerablemente pudiendo alcanzar los 200.000 habitantes y ello se refleja en el vertido urbano.

Otro ejemplo podría ser el gráfico histórico de la Concentración de Tritio en algunos puntos de muestreo de análisis radiológicos, situados a la salida de las estaciones potabili-

zadoras de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla (Figura 2), en la región de Murcia. Al comparar la estación ECT-01 de Letur (Figura 3), con la ECT-02 Sierra Espada (Figura 4) y con la ECT-03 Campotéjar (Figura 5) se observa que en la primera estación se encuentra un valor medio de la concentración de Tritio del orden de 1,5 Bq/l; sin embargo en las demás estaciones el valor medio de la concentración de Tritio es del orden de 7-8 Bq/l.

Evidentemente esta concentración de Tritio no presenta ningún riesgo, pero se puede considerar “anómala” en un agua de consumo en una zona que está alejada de “fuentes de radiactividad artificial”. Al ampliar la zona geográfica en estudio y al hacer el seguimiento pertinente analizando el tritio en las estaciones de muestreo intermedias en el Segura, el Júcar y el Tajo se comprueba, que el Tritio procedente de la C. N. de Trillo situada en la provincia de Guadalajara, llega hasta Murcia a través del Tajo, del transvase Tajo – Segura y de los ríos Júcar y Segura (Figura 6).

Como en todo problema de ingeniería, el proceso de vigilancia de un parámetro se efectúa de manera interactiva con el medio, esto es: la vigilancia se efectúa mediante redes, en las que por una parte, cada punto tiene su razón de ser individualmente y ha sido elegido por técnicos que conocen a fondo la zona a muestrear (por ejemplo ingenieros de vertido de las Confederaciones Hidrográficas) y por otra parte tiene su razón de ser como integrante de una red, ya que el que formen parte de una red tiene como consecuencia que los valores obtenidos deben ser coherentes tanto en el tiempo como en el espacio, esto es, los cambios bruscos de valores en relación con los valores próximos en el espacio o en el tiempo deben ser analizados y explicitados.

(\*) Lic. en C. Químicas. Coordinadora de Programa. Área de Aplicaciones Isotópicas. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX.

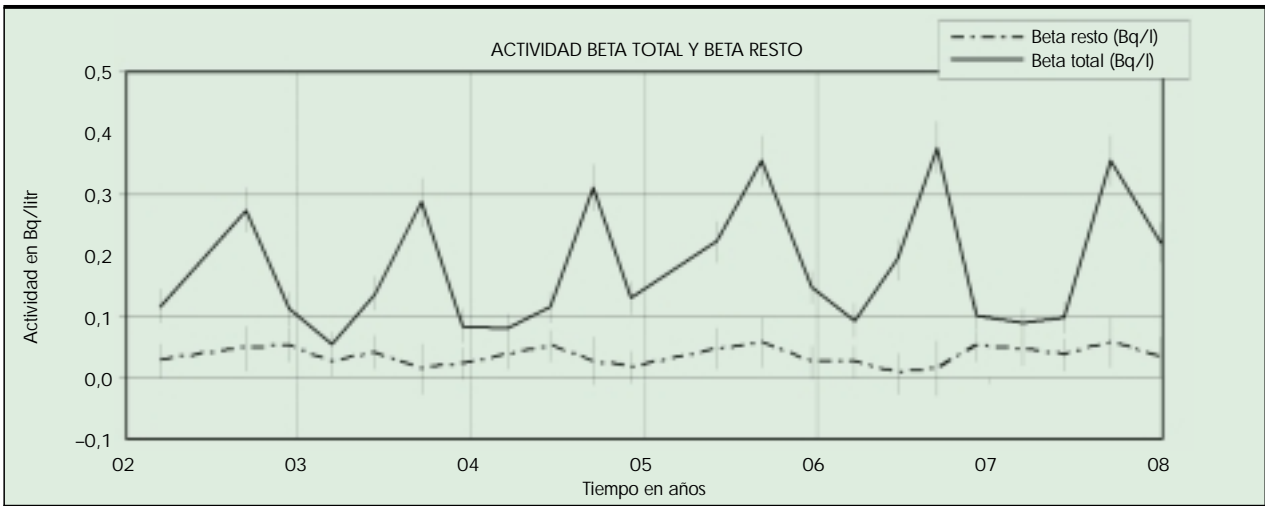


FIGURA 1. Punto de muestreo ATA-22 VILLALBA –GUADARRAMA.

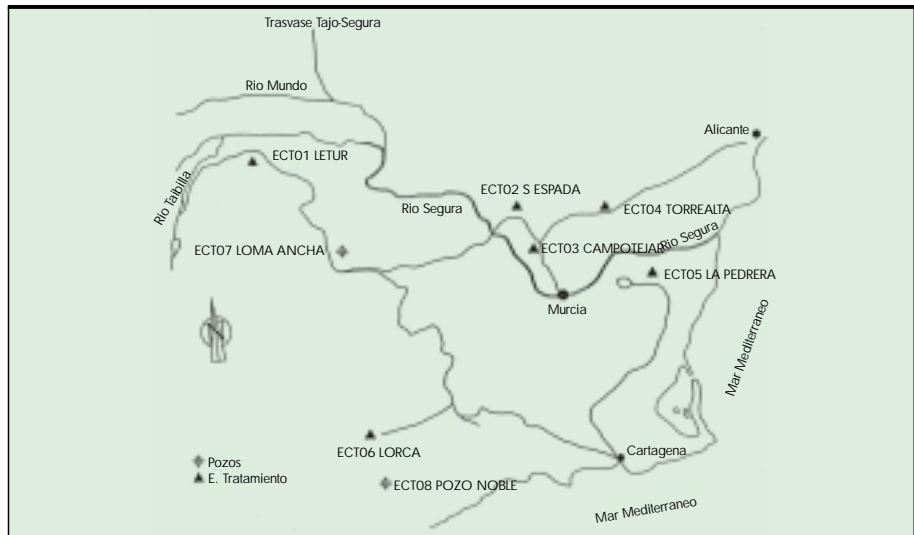


FIGURA 2. Puntos de muestreo en la Mancomunidad de los Canales del Taibilla.

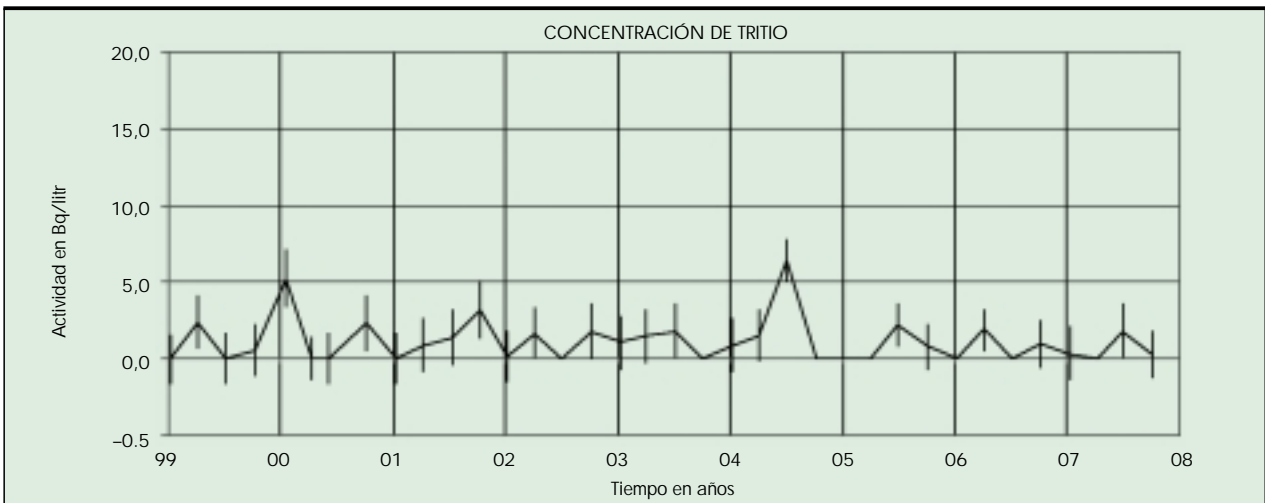


FIGURA 3. Punto de muestreo ECT-01 DE LETUR.

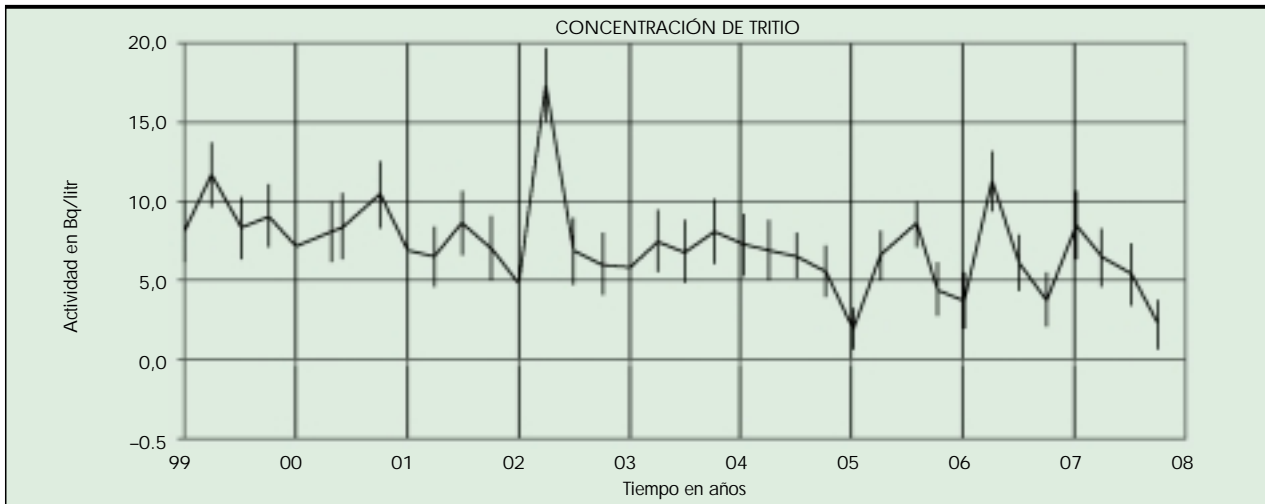


FIGURA 4. Punto de muestreo ECTO2 SIERRA ESPADA - TRATADA.

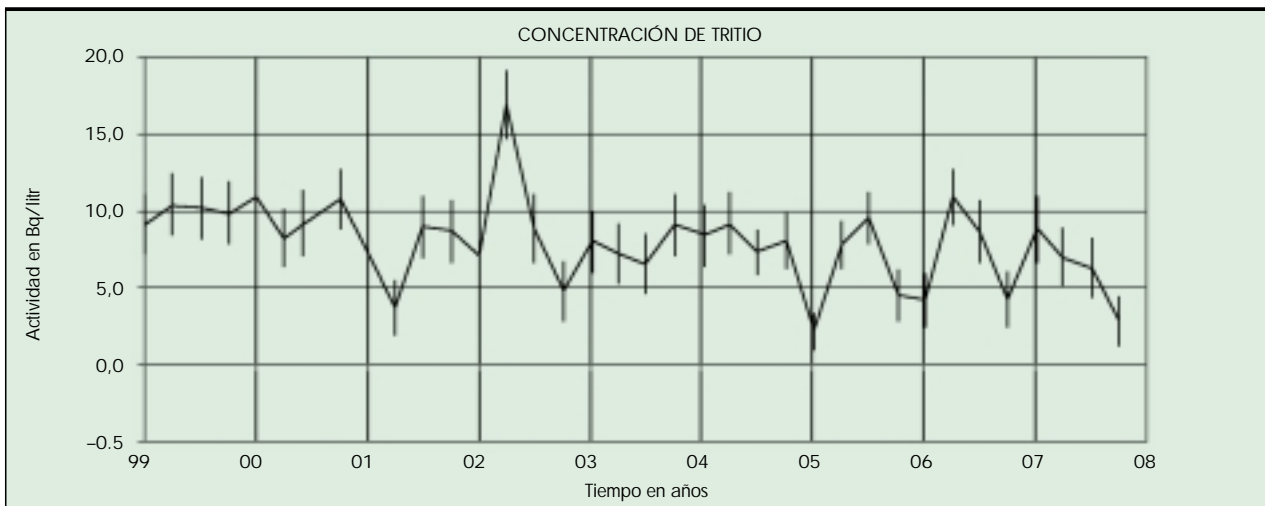


FIGURA 5. Punto de muestreo ECT-03 CAMPOTÉJAR.



FIGURA 6. Transvase Tajo - Segura.

Es importante señalar que al diseñar las Redes hay que tener muy en cuenta la logística, con el fin de que el punto de muestreo además de ser el idóneo técnicamente, debe permitir una toma de muestras que representen el medio (por ej. el agua no esté estancada), sea accesible en cualquier época del año, no presente un peligro para el tomador de muestras, etc. No hay que olvidar que las Redes de Vigilancia se diseñan para periodos de tiempo largos y para números de muestra del orden de 800 – 1000 al año.

En el agua habría en este sentido cuatro grandes divisiones conceptuales que nos permiten definir cuatro grandes tipos de redes:

- Las aguas continentales superficiales o subterráneas.
- Las aguas costeras.
- Las aguas de consumo humano.
- Los casos especiales que buscan objetivos especiales (“Sparse”, alta sensibilidad”, entorno de instalaciones, etc.).

A continuación se describe la estructura y funcionamiento de las redes, con los criterios que se utilizaron para elegir los puntos, pero es necesario destacar que la información es enviada de manera periódica y sistemática (con distintos contenidos y orientaciones) al Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), a los organismos de cuenca, a las autoridades hidráulicas, ayuntamientos, jueces, Parlamento, etc.

Por otra parte, también se debe destacar que la vigilancia radiológica de las aguas subterráneas es una asignatura pendiente; la razón de ello proviene de que los parámetros hidráulicos del agua superficial son mucho más conocidos que los de los acuíferos subterráneos. Por ejemplo, el acuífero de Torrelaguna (al N. de Madrid) llega hasta Talavera (al S. O. de Madrid) a unos 125 Km. Se estima que tarda unos 400 años en recorrerlos. Ello es debido a que los procesos de difusión son mucho más lentos y peor conocidos que los convectivos con transporte de masa. La interpretación de un determinado valor de los índices de actividad es algo muy complejo en estos momentos.

## 2. LA RED DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL DE LAS AGUAS CONTINENTALES ESPAÑOLAS

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (RVRA) de las Aguas Continentales Españolas comenzó a gestarse en los años 1975 y 1976, como una consecuencia del desarrollo que iba adquiriendo en nuestro país la energía eléctrica de origen nuclear. El Ministerio de Obras Públicas llegó a la conclusión de que era necesario llevar a cabo un seguimiento de las variables radiológicas como un factor más de la calidad de las aguas. Por ello encargó al CEDEX como Organismo de dicho Ministerio, la puesta en marcha, explotación y desarrollo de la Red.

La Red comenzó a ser operativa en Octubre de 1978 y, desde entonces, con variaciones y mejoras, se miden un conjunto de parámetros que definen los niveles de fondo de la radiactividad de las aguas continentales españolas.

Está formada por un conjunto de 91 puntos de muestreo seleccionados en las nueve principales cuencas españolas en los que se analizan los parámetros indicativos de los niveles de radiactividad.

Las muestras se toman y envían por las Confederaciones Hidrográficas respectivas y en el caso de las cuencas catalanas, por la Agencia Catalana del Agua a los laboratorios del Área de Aplicaciones Isotópicas del CEDEX donde son analizadas (Figura 7).

En todas las muestras se determinan el pH, la conductividad, los índices de Actividad Alfa Total, Beta Total, Beta Resto, la concentración de Tritio y se realiza una Espectrometría Gamma.

Cada año hidráulico, los resultados son estudiados por cuencas emitiéndose para cada una, el correspondiente informe técnico.

### 2.2. FUENTES DE RADIOACTIVIDAD EN EL MEDIO ACUÁTICO

Los radionucleidos presentes en el medio acuático se pueden clasificar de muchas maneras: tipo de radiación, energía, solubilidad, compuestos que forman, etc. En principio



FIGURA 7. Laboratorio de Química del Área de Aplicaciones Isotópicas.

los clasificaremos atendiendo a su origen natural o artificial.

- Los radionucleidos naturales pueden tener un origen terrestre o un origen cósmico.
  - Los radionucleidos de origen terrestre se dividen en dos clases: aquellos que no dan lugar a una familia radiactiva y los que sí lo hacen. Entre los primeros, el más importante es el  $^{40}\text{K}$ . Estos radionucleidos tienen un período de semidesintegración muy largo, en general superior a la edad de la Tierra. Entre los segundos se observan tres series radiactivas: la serie del uranio que se origina con el  $^{238}\text{U}$ , la serie del torio que se origina con el  $^{232}\text{Th}$  y la serie del actinio que se origina con el  $^{235}\text{U}$ . Algunos radionucleidos a destacar en estas cadenas son el  $^{234}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{210}\text{Po}$ .
  - Los radionucleidos de origen cósmico se forman continuamente en la atmósfera como consecuencia de la interacción de los rayos cósmicos con los elementos que la componen y se depositan posteriormente por diferentes mecanismos como, por ejemplo, la lluvia. En general, son radionucleidos de períodos de semidesintegración relativamente cortos. Entre los radionucleidos más comunes se encuentran el  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$  y  $^{14}\text{C}$ .

Hay que tener en cuenta también la radiactividad natural modificada por actividades humanas debida a las grandes ciudades ya que pueden producir incrementos significativos de la radiactividad de las aguas; ello es consecuencia de los vertidos urbanos e industriales convencionales. También debe considerarse la debida a las centrales térmicas, a la minería, a las fábricas de fertilizantes, etc.

- Los radionucleidos artificiales pueden tener su origen principalmente en las explosiones nucleares, en la producción de energía nuclear, en las distintas fases del ciclo de combustible, en los accidentes nucleares ( Chernobyl ), etc.
  - La presencia generalizada de radionucleidos artificiales en el medio ambiente se debe, principalmente, a las explosiones nucleares estratégicas llevadas a cabo en la atmósfera durante las décadas pasadas. La mayor parte de este material radiactivo fue inyectado en la estratosfera, transfiriéndose después, lentamente, a la troposfera y a continuación a toda la superficie del globo terrestre constituyendo el “fallout” (deposición). En una explosión nuclear, se producen más de 200 isótopos de 35 elementos diferentes entre productos de fisión y productos de activación. La mayoría de los isótopos son radiactivos con un período de semidesintegración muy corto (  $^{24}\text{Na}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ , etc.), pero hay algunos con un período relativamente grande como el  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$ . Entre todos los radionucleidos producidos en las explosiones nucleares en la atmósfera los que tienen una mayor importancia dosimétrica son los emisores beta  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  y los emisores alfa  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  y  $^{240}\text{Pu}$ , debido a su largo período de semidesintegración y a su radiotoxicidad. También hay que destacar el  $^{241}\text{Pu}$  que, aunque es un emisor beta de baja energía genera  $^{241}\text{Am}$ .
  - Los radionucleidos generados en la producción de energía nuclear son numerosos, entre ellos podemos distinguir los radionucleidos producidos por las centrales nucleares durante su funcionamiento normal que se pueden clasificar según su origen:
    - Productos de fisión: proceden de la fisión de los radionucleidos fisionables. La masa atómica de los radionucleidos, según el rendimiento de fisión se cen-

tra en torno a dos picos, uno el pico del 90 y el otro en torno al pico del 130. Algunos se hallan en los efluentes líquidos ( $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$ , etc.), otros en los efluentes gaseosos ( $^{85}\text{Kr}$ ) y otros pueden presentarse en ambas formas ( $^{129}\text{I}$  y  $^{131}\text{I}$ ).

- Productos de activación: proceden del bombardeo por los neutrones de elementos estables presentes en diferentes zonas del reactor, por ejemplo,  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ , etc.
- Transuránicos: representados principalmente por los radioisótopos del plutonio, del americio y del curio.

También habrá que tener en cuenta distintos radionucleidos que se generan en las distintas fases del ciclo de combustible, es decir en la extracción y tratamiento, en la fabricación de elementos combustibles, en los reactores nucleares en las plantas de procesamiento, en el almacenamiento de residuos, etc.

En el apartado correspondiente a la bibliografía se citan algunas referencias que permiten ampliar las cuestiones del origen y destino de los radionucleidos presentes en el medio acuático.

### 2.3. LA RED DE TOMA DE MUESTRAS

El objetivo fundamental que se pretendía al establecer la Red, era el de conocer el fondo radiactivo de las aguas continentales españolas, así como su evolución en función de las actividades humanas. De ahí que los criterios generales que se siguieron fuesen:

- Cubrir los entornos de posible incidencia de las instalaciones nucleares y radiactivas en explotación actual o futura.
- Conocer la situación radiológica en puntos no afectados por vertidos o usos humanos (por ej. cabeceras de las cuencas).
- Conocer la situación radiológica y su evolución en puntos caracterizados por usos humanos importantes (abastecimientos, regadíos, zonas industriales, etc.).
- Aprovechar la infraestructura existente en el Ministerio de Obras Públicas, adaptando la red a la Red de calidad de aguas y afloros, lo que garantizaba el conocimiento de los parámetros fisicoquímicos que ya medía el propio Ministerio y facilitaba la recogida de muestras.

Está formada por un conjunto de 91 puntos de muestreo seleccionados en las nueve principales cuencas españolas, de la forma siguiente:

Cuenca hidrográfica	nº de puntos de muestreo
Cuencas del Norte	10
Duero	13
Tajo	22
Guadiana	5
Guadalquivir	12
Ebro	12
Júcar	6
Segura	4
Cuencas catalanas	7



FIGURA 8. Situación de los puntos de muestreo en la RVRA de las Aguas Continentales.

En la figura 8 se sitúan los puntos de muestreo RVRA de las Aguas Continentales.

#### 2.4. CARACTERÍSTICAS Y LOGÍSTICA DE LA TOMA DE MUESTRAS

Dado que se trata de muestras de aguas continentales superficiales, no se plantean problemas técnicos especiales en su recogida. Las muestras se toman con las precauciones habituales de las muestras destinadas a análisis físico-químicos: aguas no estancadas, botellas de un solo uso, etiquetado inmediato, etc.

Los problemas suelen ser de carácter logístico debido a que se trata de una gran cantidad de puntos de muestreo repartidos por toda la geografía española y recogidos con gran frecuencia. Las muestras son tomadas y enviadas por las Confederaciones Hidrográficas y por la Agencia Catalana del Agua.

La frecuencia de la toma puede ser quincenal, mensual o trimestral.

La modalidad de la toma puede ser puntual o continua. En este segundo caso las muestras se toman por medio de muestreadores automáticos instalados en el punto de muestreo.

#### 2.5. DETERMINACIONES ANALÍTICAS

En todas las muestras de la RVRA de las Aguas Continentales se determinan la conductividad, el pH, los Índices de Ac-

tividad Alfa total, Beta total, Beta resto, la concentración de Tritio y de potasio y se realiza una espectrometría gamma.

#### Conductividad y pH

Esta medida del pH y, sobre todo, la conductividad permite tener una idea previa de las alicuotas que deben tomarse para la determinación de los Índices de Actividad Alfa y Beta total. Por otra parte dan un control de calidad de los procesos ya que las alicuotas son preparadas de forma independiente y permiten un primer control cualitativo de las medidas posteriores.

#### Índice de Actividad Alfa Total

La preparación química de la muestra consiste en una concentración por evaporación a sequedad y deposición del residuo sobre plancheta de acero inoxidable.

La medida se realiza por centelleo sólido, (figura 9) mediante detectores de SZn(Ag) siendo la actividad mínima detectable (A.M.D.) de 0,04 Bq/.

#### Índice de Actividad Beta total

La preparación química consiste en una concentración por evaporación a sequedad y deposición del residuo en plancheta de acero inoxidable.

La medida se realiza por medio de un contador proporcional de flujo de gas siendo la actividad mínima detectable (AMD.) de 0,05 Bq/l.



FIGURA 9. Sistema detector de centelleo sólido.

#### Índice de Actividad Beta Resto y Concentración de Potasio

El Índice de actividad resto beta se calcula por diferencia entre el índice de actividad beta total y el índice de actividad beta correspondiente al K-40. La concentración de K-40 se deduce de la concentración de K-total, que se mide por espectrofotometría de emisión atómica.

#### Concentración de Tritio

Dado que la actividad Beta total se mide en muestras concentradas por evaporación, la contribución de los emisores Beta volátiles no se contabiliza. El emisor beta de mayor in-

terés desde el punto de vista radiológico de la calidad del agua, es el Tritio.

La preparación de muestras problema para la medida de Tritio se realiza de forma directa adicionando el centelleador adecuado.

La medida se realiza con la técnica de centelleo líquido, siendo la actividad mínima detectable (A.M.D.) de 3 Bq/l.

#### Espectrometría gamma

Para identificar y medir los isótopos emisores Gamma, las muestras se preparan vertiendo un determinado volumen de la muestra acidulada en un frasco Marinelli.

La medida se realiza utilizando detectores de germanio-HP (Figura 10) La actividad mínima detectable (A.M.D.) en este caso, es diferente para cada radionucleido debido a que las emisiones tienen distinta energía.

El espectro así obtenido informa de los principales emisores gamma artificiales y naturales.

Los resultados una vez validados se incorporan a las Bases de Datos donde son tratados con las correspondientes aplicaciones que darán lugar a los gráficos, resúmenes, hojas de resultados, etc. que se incluyen en los informes que se envían de forma habitual a los organismos correspondientes.

#### 2.6. LEGISLACIÓN APLICABLE

Se puede considerar que la única Normativa sobre Vigilancia Radiológica en Aguas Continentales aplicable en la Unión Europea y en España es el Tratado del Euratom, en concreto los artículos 35 y 36.

La Normativa y Legislación aplicable en el agua de consumo humano (ver el apartado correspondiente) "sensu estricto" no es de aplicación a las aguas continentales, ahora bien los valores paramétricos establecidos son una referencia por tratarse de los recursos hídricos, que en ciertos casos pueden estar destinados a ser llevados a las redes de agua de agua de consumo humano.



FIGURA 10. Detectores de germanio-HP.