

LA RED DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL DEL MEDIO ACUÁTICO DE ÁMBITO NACIONAL



LUIS PUJOL TERÉS

Coordinador de Programa Técnico Científico
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX)

INTRODUCCIÓN

La Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (RVRA) del medio acuático de ámbito nacional comenzó a gestarse en los años 1975 y 1976, como consecuencia del desarrollo que iba adquiriendo en nuestro país la energía eléctrica de origen nuclear. Los técnicos del entonces Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas (GANOP), organismo dependiente del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), se pusieron en contacto con la Dirección General de Obras Hidráulicas, en especial con el Servicio de Planificación Hidrológica, y llegaron a la conclusión de la necesidad de llevar a cabo un seguimiento de los parámetros radiológicos como un factor más de la calidad del agua. Tras un largo proceso técnico y administrativo se llegó al acuerdo de realizar dicha red y, para ello, se fijaron tres criterios:

1. Selección y formación del equipo humano.
2. Habilitación de locales e instalaciones y adquisición de la instrumentación y material necesario.
3. Definición de los puntos de muestreo.

La red de vigilancia radiológica comenzó a ser operativa en octubre de 1978 y, desde entonces, con variaciones y mejoras, se mide un conjunto de parámetros que definen los niveles de radiactividad de las aguas continentales españolas [1]. En el año 1987, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) suscribió un acuerdo específico con el CEDEX, por el cual el CSN participaba en el programa de Vigilancia Radiológica de las Aguas Continentales Españolas que el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente mantenía y financiaba desde el año 1978 (entonces Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo) y cuya realización tenía encomendada el CEDEX. Posteriormente en 1993, se firmó un nuevo acuerdo

específico por el que se amplió la vigilancia a las aguas costeras y de abastecimiento público (red densa). Y, por último, en el año 2004 se firmó un nuevo acuerdo en virtud del cual se incluyó la vigilancia de las aguas continentales y costeras en el programa de la red de alta sensibilidad o red espaciada [2], para lo cual el laboratorio del CEDEX implementó las técnicas analíticas adecuadas en dicha red [3]. Estos dos convenios se fueron manteniendo con renovaciones anuales hasta que para dar cumplimiento a las obligaciones recogidas en apartado 6.a del artículo 32 de la Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público se firmaron dos Encargos a Medio Propio.

En este punto, conviene señalar que, la vigilancia radiológica llevada a cabo por el CSN en la actualidad tiene en cuenta los acuerdos alcanzados por los países miembros de la Unión Europea y la recomendación de la Comisión de 8 de junio de 2000 sobre el alcance mínimo de los programas de vigilancia para cumplir con el artículo 36 del Tratado Euratom [4]. A partir de dicha recomendación, fue cuando se formalizó a nivel nacional el desarrollo de las dos redes de vigilancia [2]:

- Una red densa, con numerosos puntos de muestreo, de modo que quede adecuadamente vigilado todo el territorio de los Estados miembros. Esta red se corresponde con la implantada en España desde 1993, y en el caso de las aguas continentales, con anterioridad, como ya se ha comentado.
- Una red espaciada, constituida por muy pocos puntos de muestreo, donde se requieren unas técnicas de medida de gran sensibilidad. Esta red se implantó en nuestro país en el año 2000 (con muestras de aire, agua potable, leche y dieta tipo) y en el año 2004 se amplió para muestras de agua superficial y aguas costeras con la colaboración del CEDEX.

En la actualidad, están vigentes dos encargos a medio propio denominados "Adenda al encargo a medio propio personificado por el CSN al CEDEX para la realización del programa de vigilancia radiológica ambiental en el medio acuático (red de estaciones de muestreo: red densa) (2020-2023). Adenda aplicable al período 2024-2027" y "Adenda al encargo a medio propio personificado por el CSN al CEDEX para la realización del programa de vigilancia radiológica ambiental en el medio acuático (red de estaciones de muestreo red espaciada) 2019-2022. Adenda aplicable al periodo 2023-2026".

ORÍGENES DEL GANOP Y SITUACIÓN ORGÁNICA ACTUAL EN EL CEDEX

El Ministerio de Obras Públicas creó en 1957 el CEDEX [5], con la finalidad de estudiar todas las materias que tuvieran relación con las Obras y Servicios del Departamento, integrándose los Laboratorios de la Escuela de Ingenieros de Caminos y otros de nueva creación [6]. Posteriormente, el 1 de diciembre de 1960 se creó dentro del CEDEX, mediante Decreto de la Presidencia de Gobierno, el Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas (GANOP) en conexión con la Junta de Energía Nuclear (también conocido como Centro Nacional de Energía Nuclear Juan Vigón) [7].

La actividad del GANOP se desarrollaba en el área de interacción de la energía nuclear y las obras públicas, y comprendía: estudios e investigaciones, tanto teóricas como experimentales, proyectos y realizaciones ingenieriles, e incorporación a las obras de las técnicas nucleares [8]. Especial mención merecen los estudios pioneros llevados a cabo en el GANOP a partir de 1964 con la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) para medir los caudales de los ríos [9] y a partir 1965 el estudio del agua subterránea mediante la utilización de trazadores ambientales [10].

Conviene señalar que, en el año 1979, hubo una reestructuración orgánica del CEDEX por la que se derogó el Decreto por el que se había creado el GANOP. A partir de 1979, el Gabinete de Aplicaciones Nucleares disminuye su nivel orgánico pasando a denominarse Servicio de Aplicaciones Nucleares y a depender orgánicamente de la Subdirección del CEDEX [11]. Posteriormente, en 1989, se publica la relación de puestos de trabajo (RPT) donde se crea el Programa de Aplicaciones Nucleares dentro del Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CETA), Centro que ya se había creado previamente en el Real Decreto 2558/1985, de 27 de diciembre. Finalmente, en la RPT de 1998, el Programa de Aplicaciones Nucleares pasa a denominarse Área de Aplicaciones Isotópicas en el CETA.

RED DENSA

La RVRA de las aguas continentales

El objetivo principal que se pretendía al establecer la RVRA de las aguas continentales era conocer el fondo radiactivo, así como su evolución en función de las actividades antrópicas. En consecuencia, los criterios generales que se siguieron fueron [12]:

- 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 ejemplo, las cabeceras de las cuencas).
- Conocer la situación radiológica y su evolución en puntos caracterizados por usos humanos importantes (abastecimientos, regadíos, zonas industriales, aguas debajo de núcleos urbanos, etc.).
- Aprovechar la infraestructura, por aquel entonces, Ministerio de Obras Públicas, adaptando la RVRA a la red de calidad de las aguas y aforos, lo que garantizaba el conocimiento de los parámetros físico-químicos que ya medía el propio Ministerio y facilitaba la recogida de muestras.

El diseño de la RVRA se ha mantenido, en la medida de lo posible, a lo largo de los años, con objeto de permitir el seguimiento histórico de los parámetros de calidad radiológica en los mismos puntos y poder detectar con mayor rigor variaciones en los parámetros analizados. En la actualidad, existen 85 puntos de muestreo situados a lo largo de los ríos de las principales cuencas hidrográficas españolas, tanto en zonas de potencial influencia de las instalaciones nucleares y del ciclo de combustible, como en áreas alejadas de ellas (véase figura). La recogida de las muestras es, generalmente, de tipo puntual y frecuencia trimestral, siendo en algunos casos de frecuencia mensual. Por otra parte, en algunas estaciones situadas aguas abajo de las instalaciones nucleares, la toma de muestra es de tipo integrada. Los distintos Organismos de Cuenca (Confederaciones Hidrográficas, y las Agencias del Agua de las Comunidades Autónomas de Andalucía, Galicia y Cataluña) son las encargadas de la recogida de las muestras.



Las determinaciones que se realizan en todas las muestras de agua pertenecientes a la RVRA de las aguas continentales son [13]: índice de actividad alfa total, índice de actividad beta total, índice de actividad beta resto, actividad de tritio y espectrometría gamma. En todos los casos se utilizan procedimientos internos basados en los procedimientos normalizados del CSN, exceptuando la actividad de beta y beta resto donde se utilizan las normas UNE-EN ISO 10704:2019 y la norma UNE 73340-2:2003, respectivamente. La medida de la actividad alfa total se realiza con el detector de centelleo sólido de ZnS(Ag) [14], la beta total con el contador proporcional de flujo continuo de gas [15], la determinación beta resto se calcula sustrayendo la contribución beta del

potasio-40 al índice de actividad beta total [16], la medida de tritio se realiza por centelleo líquido [17] y, finalmente, la determinación de los emisores gamma se realiza mediante un detector semiconductor de germanio [18].



Contador de centelleo sólido de ZnS(Ag) para la determinación del índice de actividad alfa total.



Contador proporcional de flujo continuo de gas para la determinación del índice de actividad beta total.

La RVRA de las aguas costeras

En 1993, a instancias del CSN, el CEDEX puso en marcha la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (RVRA) en las Aguas Costeras Españolas, como consecuencia de la necesidad de conocer de forma sistemática los niveles de radiactividad de las aguas costeras españolas, estudiar la evolución y/o posibles oscilaciones de los parámetros radiológicos con el tiempo. En la primera campaña correspondiente al muestreo realizado en 1993, esta RVRA estaba compuesta de 6 puntos de muestreo de frecuencia trimestral, repartidos a lo largo de todo el litoral español. Los puntos de muestreo se fueron ampliando con posterioridad, hasta llegar a los 15 puntos de muestreo actuales.

Esta Red está formada por un conjunto de puntos de muestreo escogidos a lo largo de todo el litoral del estado español en los que se analiza trimestralmente su contenido en radiactividad. Dadas las características del medio marino, es de especial importancia la logística del muestreo. Las muestras son tomadas por medio de embarcaciones dependientes de la Sociedad Estatal de Salvamento y



Red de estaciones de muestreo de aguas costeras (Red Densa).

Seguridad Marítima y de las autoridades portuarias y son enviadas al Laboratorio del Área de Aplicaciones Isotópicas del CEDEX donde son analizadas [19].

Aunque los parámetros radiactivos que se determinan en las aguas marinas de la Red Densa son los mismos que en el caso de las aguas continentales, la preparación de las muestras es más compleja de forma que se tuvieron que implementar técnicas analíticas adecuadas a dicha matriz (elevada conductividad de las muestras de agua marina) [20].

En particular, en el caso del índice de actividad alfa total se tuvo que desarrollar el método de coprecipitación [21], para poder procesar 500 ml en lugar de los 10 ml habituales en el método de evaporación directa en aguas continentales, en el caso del índice de actividad beta total se redujo el volumen a procesar de 200 ml a 10 ml y, en el caso del tritio se utiliza el método de concentración electrolítica [22], de forma que se procesan 500 ml de muestra, en lugar de los 10 ml que se utilizan en la medida directa en las aguas continentales. También conviene señalar que hubo que poner a punto un método nuevo para la determinación del potasio en agua de mar [23] para poder determinar el índice de actividad beta resto en agua de mar.



Recipiente refrigerador para la preparación de las muestras de agua de mar en la determinación de tritio por concentración electrolítica.

RED ESPACIADA

En 2004, se firmó por parte del CSN y del CEDEX, un nuevo convenio para el desarrollo de un “Programa de vigilancia radiológica ambiental en el medio acuático (red de estaciones de muestreo: red espaciada)” en aguas costeras y continentales. Este convenio da cumplimiento a la recomendación de la Comisión Europea, de 8 de junio de 2000, sobre la aplicación del artículo 36 del Tratado del Euratom en lo que se refiere al desarrollo de una Red Espaciada [4].

La red espaciada dispone, en la actualidad, de tres puntos de muestreo en aguas continentales: en el río Ebro en la localidad de García (Tarragona), en el río Tago en el embalse de Alcántara y en el río Júcar, en el embarcadero Júcar Cofrentes, aguas abajo de la central nuclear de Cofrentes. En el caso de aguas marinas la red está formada por cuatro puntos de muestreo: uno en el mar Cantábrico, dos en el Océano Atlántico y otro en el mar Mediterráneo.



La recogida es puntual con frecuencia trimestral, tanto en aguas continentales como en aguas marinas. En el caso de las aguas continentales la recogida se realiza mediante un contrato de servicio externo y, en el caso de aguas marinas, las muestras son tomadas por medio de embarcaciones dependientes de la Sociedad Estatal de Salvamento y Seguridad Marítima, simultáneamente a la toma de las aguas marinas de la Red Densa.

El Laboratorio del CEDEX, dentro del programa de la Red Espaciada del CSN, realiza la determinación de la concentración del radiocésio (cesio-137 y cesio-134) en muestras de aguas continentales y de cesio-137 en aguas marinas utilizando un procedimiento radioquímico basado en el arrastre de este elemento por la precipitación del fosfomolibdato amónico (AMP) en medio ácido. Las propiedades del fosfomolibdato amónico como agente de intercambio iónico para extraer cesio ha hecho de este compuesto la base de los procedimientos de determinación de radiocésio en muestras de agua de mar y continental. La posterior medida se realiza utilizando un sistema de espectrometría gamma de alta resolución y muy bajo fondo [24].



SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD

En 1998, los laboratorios españoles de radiactividad ambiental, celebraron en Bilbao las primeras jornadas sobre “Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental”, donde se acordó, entre otras cosas, crear grupos de trabajo cuya misión sería la elaboración de normas para el aseguramiento de la calidad en este campo. Distintos miembros del Área de Aplicaciones Isotópicas participaron en todos los grupos y subgrupos de normas y procedimientos del SC-03 CTN-73 de AENOR, promovidos por el CSN. Se crearon tres grupos: patrones, incertidumbres y normas y, dentro del grupo de normas cuatro subgrupos: a) muestreo, b) preparación y preservación de muestras, c) procedimientos analíticos y d) equipos [25]. Fruto del trabajo de estos grupos se generaron normas UNE y procedimientos normalizados de Vigilancia Radiológica Ambiental publicados por el CSN [3] que son utilizados por todos los laboratorios españoles de radiactividad ambiental y que son revisados y actualizados periódicamente. En 2024 se celebraron en Palma de Mallorca las XII Jornadas de Calidad en el Control de Radiactividad Ambiental.

El Laboratorio de Aplicaciones Isotópicas del CEDEX se acreditó por ENAC según la norma UNE-EN ISO/IEC 17025 en mayo de 2012, para la realización de ensayos de protección radiológica. El alcance actual del laboratorio es para la matriz de aguas de consumo, continentales y de transición en los siguientes ensayos: actividad alfa total, beta total, beta resto, tritio directo y tritio por concentración electrolítica, y en la matriz de aguas marinas y costeras, para los ensayos de actividad beta total, beta resto y tritio por concentración electrolítica. Además, el Laboratorio del AAI ha sido visitado por técnicos de la Comisión Europea para verificar las instalaciones en cumplimiento del artículo 35 del tratado Euratom en 2021 y en 2024.



Visita de los expertos de la Comisión Europea al Laboratorio del AAI para la verificación de las instalaciones en cumplimiento del tratado Euratom en abril 2024.

Entre otros aspectos, en estas verificaciones, se auditan los instrumentos de medición, los métodos de preparación, la gestión de registros, el manejo de datos y las medidas de control de calidad [26].

La información generada en las diferentes determinaciones analíticas que realiza el Laboratorio del Área de Aplicaciones Isotópicas para la medida de la radiactividad en muestras de agua (índices de actividad alfa total, beta total, beta resto, tritio directo, tritio por concentración electrolítica y espectrometría gamma) es gestionada mediante una base de datos con Microsoft Access® que centraliza toda la información de las muestras.

Esta base de datos se administra mediante una aplicación informática denominada Meragua (Medidas de radiactividad en agua) desarrollada utilizando la herramienta Microsoft Visual Basic®.net. 2015 [27]. La aplicación Meragua sirve para la gestión y el control de muestras, en lo que se refiere a su toma, recepción en el laboratorio, preparación, medida, cálculo de las actividades, almacenamiento de resultados y salida de los mismos en distintos tipos de informes [28].

RESULTADOS DE LAS REDES DE VIGILANCIA RADIOLÓGICA AMBIENTAL

En este apartado se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las dos redes de vigilancia en las que participa el CEDEX por encargo del CSN. Los resultados de ambas Redes (Red Densa y Red Espaciada) son remitidos al CSN, en cumplimiento de las condiciones establecidas en los acuerdos con el CEDEX. El CSN almacena estos resultados y el de otros programas de vigilancia radiológica en un sistema informático integrado de gestión de los datos, denominado KEEPER-WEB para su consulta pública (<https://www.csn.es/kprgisweb2/>).

Resultados de las aguas continentales de la Red Densa

Índice de actividad alfa total [29]. Se pueden definir tres tipos de cuencas 1) cuencas que presentan siempre valores inferiores a 0,1 Bq/l (cuenca del norte y cuenca del

Júcar), 2) cuencas que, en algunos puntos, superan los 0,1 Bq/l (cuenca del Guadalquivir, cuenca del Segura, cuencas catalanas, cuenca del Ebro y cuenca del Guadiana) y 3) cuencas que presentan valores claramente superiores a 0,1 Bq/l en varios puntos de muestreo (cuenca del Tajo y río Águeda, en la cuenca del Duero). En este último caso, el origen de la mayoría de esta actividad alfa total se explica por el contenido de uranio natural propio de la geología de las zonas por las que discurren los ríos principales y sus afluentes. Conviene señalar que el valor paramétrico de 0,10 Bq/l para el índice de actividad alfa total establecido en el RD 3/2023 es para el agua de consumo.

Índice de actividad beta total y beta resto [30]. Los valores medios del índice de actividad beta total de todas las cuencas son inferiores a 1 Bq/l, con excepción de las cuencas catalanas que, en algunos puntos, superan 1 Bq/l. Este valor se explica debido a la actividad beta del potasio-40 presente en las cuencas catalanas. Respecto al índice beta resto, las cuencas hidrográficas españolas presentan un valor medio máximo que es un orden de magnitud inferior al valor paramétrico de 1 Bq/l establecido en la Directiva 2013/51/EURATOM de protección sanitaria de la población a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.

Actividad de tritio [17]. La actividad de tritio presenta valores medios anuales por encima del valor de fondo natural en algunos ríos (Tajo, Ebro, Júcar y Segura) como consecuencia del vertido de los efluentes de las centrales nucleares ubicadas en el propio río o vía trasvase Tajo-Segura. En el río Tajo los valores medios suelen superar en algún punto los 20 Bq/l, en el caso de Ebro, Júcar y Segura pueden situarse alrededor de los 10 Bq/l. Además, estos valores tienden a disminuir progresivamente aguas abajo por las aportaciones al caudal de cada río de aguas de afluentes con bajas actividades de tritio. En el resto de las cuencas los valores medios suelen situarse entre 1 y 2 Bq/l (valores cercanos al fondo natural). En consecuencia, los valores de la actividad de tritio son muy inferiores al valor paramétrico de 100 Bq/l establecido en el RD 3/2023.

Emisores gamma. En ninguna de las muestras analizadas se han obtenido valores de actividad individual de emisores gamma artificiales superiores a las actividades mínimas detectables (AMD).

Resultados de las aguas costeras de la Red Densa

Los resultados de la RVRA de las aguas costeras son muy homogéneos y estables a lo largo del tiempo. Los valores medios anuales de las muestras de las aguas costeras para los índices de actividad alfa total, beta total, beta resto y tritio no muestran variaciones significativas respecto a los valores medios de las series históricas. En el caso del índice de actividad alfa total son inferiores a 0,1 Bq/l. Los valores del índice de actividad beta total suelen variar entre 12 - 14 Bq/l, ello es debido a que el agua de mar contiene potasio y, de forma natural, una proporción constante de potasio-40, que es un emisor beta-gamma. Los valores del índice de actividad beta resto en todas las muestras son inferiores a la AMD. La actividad de tritio presenta valores medios de aproximadamente 0,1 Bq/l. Con respecto a la determinación de radionucleidos específicos mediante la espectrometría gamma, al igual que sucede en las aguas continentales, en ninguna de las muestras analizadas se han obtenido valores de actividad individual superiores a las actividades mínimas detectables (AMD).

Resultados de la Red Espaciada

La concentración de actividad de cesio-137 en muestras de aguas continentales son del orden de decenas de mBq/m³ y, en el caso de aguas costeras, varían entre 1-2 Bq/m³. Los resultados históricos desde el año 2002 hasta la actualidad muestran una ligera tendencia descendente dentro de su orden de magnitud habitual. La concentración de actividad de cesio-134 siempre es inferior al AMD.

REFERENCIAS

- [1] [1] M.F. Díaz Teijeiro, M. Montero Ramos, M.A. de Pablo, J. Payeras Socías, J. Hervás Campillo, Red de vigilancia radiológica ambiental de las aguas continentales españolas, Ingeniería Civil, 86 (1992) 103-112.
- [2] CSN, INT-04.50 Programas de vigilancia radiológica ambiental Resultados 2023, Colección Informes Técnicos 60.2025, Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid, 2025.
- [3] R. Salas Collantes, C. Rey del Castillo, El sistema de vigilancia radiológica ambiental en España, Revista de Salud Ambiental, 10 (2010) 24-31.
- [4] EU, Recomendación 2000/473/Euratom de la Comisión, de 8 de junio de 2000 relativa a la aplicación del artículo 36 del Tratado Euratom sobre el control de los índices de radiactividad en el medio ambiente con vistas a evaluar la exposición del conjunto de la población (Diario Oficial de la Unión Europea de 27 de julio de 2000. Comunicación 2000/1299). 2000.
- [5] BOE, Decreto de 23 de agosto de 1957 sobre el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1957.
- [6] G.P. Poveda, El asentamiento de equipos de investigación química en España tras la Guerra Civil (1940-1965), Lull: Revista de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas, 21 (1998) 725-760.
- [7] BOE, Decreto 2236/1960 de la Presidencia de Gobierno, de 1 de diciembre, sobre creación del "Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas" en conexión con la Junta de Energía Nuclear, 1960.
- [8] M.B. i Aleu, G.G. Valentín-Gamazo, M.X.G. del Moral, La introducción de la mecánica cuántica en España: las primeras lecciones y los primeros textos, La física en la dictadura. Físicos, cultura y poder en España 1939-1975, DOI (2012) 161.
- [9] F.X. Barca Salom, Les aplicacions dels isòtops a la indústria durant el franquisme, Quaderns d'història de l'enginyeria, vol. VII, 2006, DOI (2006).
- [10] E. Custodio, Consideraciones sobre el pasado, presente y futuro de las aguas subterráneas en España, Ingeniería del agua, 26 (2022) 1-17.
- [11] BOE, Real Decreto 2092/1979, de 3 de agosto, por el que se reestructura orgánicamente el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 1979.
- [12] M.A. de Pablo, Vigilancia radiológica del agua (I), Ingeniería Civil, 151 (2008) 77-83.
- [13] M.F. Díaz Teijeiro, M. Montero Ramos, M. de Pablo, J. Payeras Socías, J. Hervás Campillo, Red de Vigilancia Radiológica Ambiental de las aguas continentales españolas, in: SNE (Ed.) XIX Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Cáceres, 1993.
- [14] L. Pujol, J.A. Suárez-Navarro, M. Montero Ramos, Índice de actividad alfa total: Contador de centelleo sólido de Zns (Ag), Ministerio de Fomento, Madrid, 2000.
- [15] L. Pujol, J.A. Suárez-Navarro, M. Montero Ramos, M.F. Díaz Teijeiro, Índice de actividad beta total: Contador proporcional de flujo continuo de gas, Ministerio de Fomento, Madrid, 2001.
- [16] J.A. Suárez-Navarro, L. Pujol, Determinación del índice de actividad Beta resto en muestras de agua, Ministerio de Fomento, Madrid, 2005.
- [17] L. Pujol, M.F. Díaz, J. Payeras, Overview of the environmental monitoring program for tritium in Spanish river waters, in: S. Chalupnik, F. Schönhofer, J. Noakes (Eds.) Liquid Scintillation Spectrometry 2005, Radiocarbon, 2005, pp. 369-381.
- [18] L. Pujol, R.G. de Orduña, Estudios para la mejora en la medida de espectrometría gamma en el laboratorio de radiactividad ambiental del CEDEX, Revista Digital del Cedex, DOI (2008) 95-95.
- [19] M.A. de Pablo, Vigilancia radiológica del agua (II), Ingeniería Civil, 152 (2008) 95-103.
- [20] L. Pujol, J.A. Suárez-Navarro, M. de Pablo, J.A. Suárez-González del Rey, Medidas de la radioactividad en aguas de mar, Ministerio de Fomento, Madrid, 2003.
- [21] J. Suarez-Navarro, L. Pujol, M. de Pablo, Rapid determination of gross alpha-activity in sea water by coprecipitation, Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry, 253 (2002) 47-52.
- [22] L. Pujol, M.F. Díaz, A revision of counting parameters of an ultra-low background liquid scintillation counter for tritium measurements using electrolytic enrichment, in: S. Möbius, J. Noakes, F. Schönhofer (Eds.) Liquid Scintillation Spectrometry 2001, Radiocarbon, 2001, pp. 221-226.

- [23] J. Suarez-Navarro, L. Pujol, Determination of potassium concentration in salt water for residual beta radioactivity measurements, *Radiation Measurements*, 38 (2004) 145-151.
- [24] L. Pujol, J.A. Suárez-Navarro, *Procedimientos radioquímicos: 2. Determinación del cesio-137 en aguas marinas y continentales*, Ministerio de Fomento, Madrid, 2002.
- [25] M.A. De Pablo, M.F. Díaz, R. Greciano, M. Montero, J. Payeras, L. Pujol, J.A. Suárez-Navarro, La acreditación de los laboratorios del Area de Aplicaciones Isotópicas. Trabajos preliminares, *Ingeniería Civil*, 124 (2001) 83-90.
- [26] S.L. Heredia, P.M. Vivas, J.T. Ruiz, C.R. del Castillo, Verificaciones de la Unión Europea sobre la vigilancia de la radiactividad en el medio ambiente, *Alfa*, DOI (2021) 43-49.
- [27] J. Payeras Socias, J.A. Suárez-Navarro, L. Pujol, Sistema de gestión y control de los procesos de un laboratorio de medidas de baja actividad, in: SNE (Ed.) 29 Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Zaragoza, 2003, pp. 08-03.
- [28] L. Pujol, L.G. Pelo, Sistema de gestión de la información de un laboratorio para la medida de la radiactividad en muestras de agua (Meragua), *Ingeniería civil*, DOI (2019) 25-41.
- [29] L. Pujol, J. Payeras Socias, Visión general del índice de actividad alfa total en las aguas superficiales españolas, XII Congreso SEPR, SEPR, Alicante, 2-5 Junio, 2009.
- [30] L. Pujol, M. de Pablo, M.E. Pérez-Zabaleta, J. Rodríguez-Arévalo, Índices de actividad beta total y beta resto en las aguas superficiales de los ríos españoles, IV Congreso Conjunto de la SEFM y la SEPR, SEPR, Valencia, 23-26 Junio, 2015. ■