

RAREx, LA RED DE ALERTA RADIOLÓGICA DE EXTREMADURA

A. BAEZA, J.A. BAEZA, J.M. CABALLERO,
J.Á. CORBACHO, M.Á. ONTALBA y J. VASCO
LABORATORIO DE RADIATIVIDAD AMBIENTAL
DE LA UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA (LARUEX)

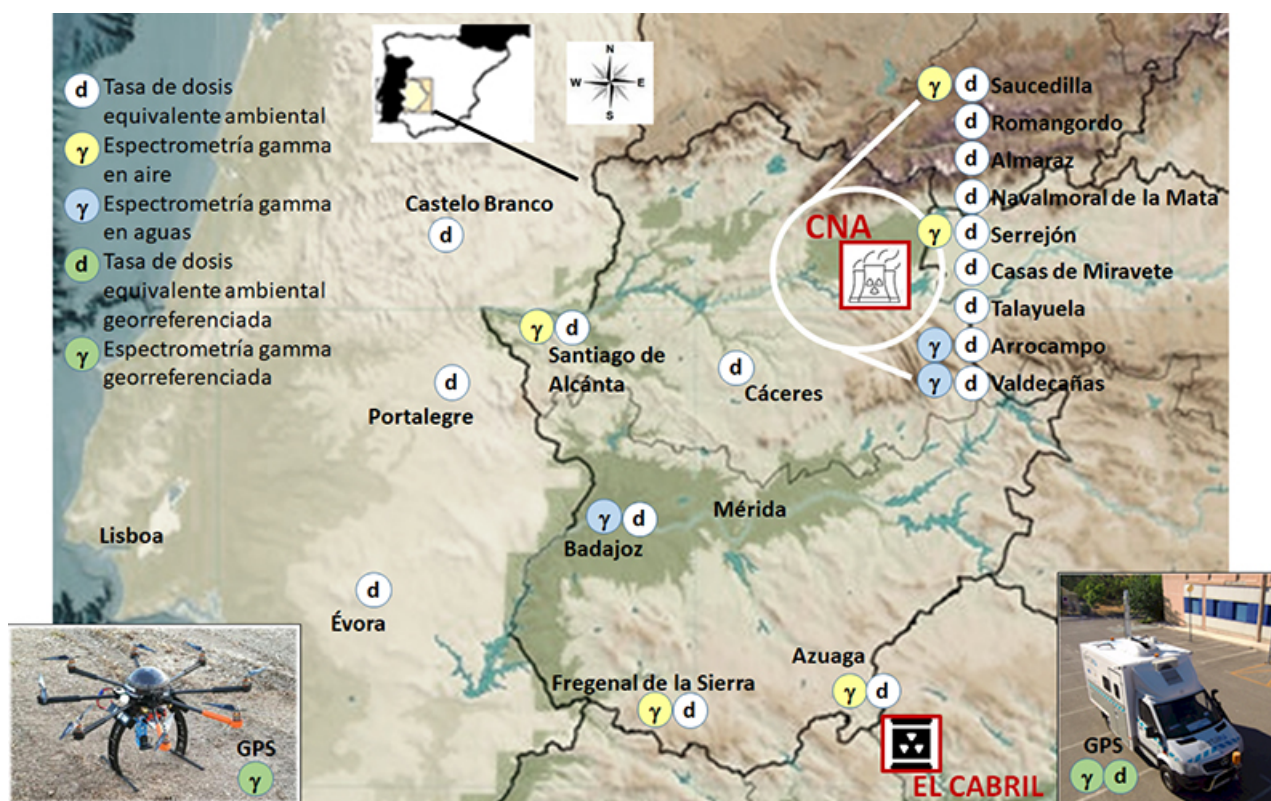


Figura 1. Localización de las estaciones fijas de monitorización atmosférica y de aguas de la RAREx, con indicación de sus capacidades analíticas, así como emplazamiento de la central nuclear de Almaraz (CNA) y de la instalación de almacenamiento de residuos radiactivos de media y baja actividad de “El Cabril”. Se incluyen imágenes del laboratorio móvil terrestre y el vehículo aéreo tripulado de forma remota, tipo dron, de la RAREx.

INTRODUCCIÓN

El funcionamiento de las instalaciones nucleares puede implicar ciertos riesgos, que es necesario minimizar a través del cumplimiento de estrictas normas de seguridad nuclear y con la ejecución de eficaces planes de vigilancia radiológica. Esto es exigido en los artículos 35 y 36 del tratado EURATOM [1] y su cumplimiento garantiza la comunicación de los niveles radiactivos que pudieran afectar a la población. Concretamente, la vigilancia radiológica ambiental automática en España la realizan, a nivel nacional, la Red de Estaciones Automáticas del Consejo de Seguridad Nuclear [2] y la Red de Alerta de Radiactividad de Protección Civil [3] y, a nivel autonómico, las redes de Cataluña [4], Extremadura, País Vasco y Valencia.

En Extremadura, existe la RAREx, una red de alerta temprana inicialmente destinada a monitorizar los niveles radiológicos del entorno de la CNA [5] pero que, paulatinamente, se ha ido expandiendo geográficamente. En la actualidad (Figura 1), dispone de un total de 17 estaciones fijas. Específicamente, 9 funcionan en el entorno de la CNA, 1 en la ciudad de Cáceres, 1 en la provincia de Cáceres (frontera a Portugal), 2 en el sureste de la provincia de Badajoz, 1 en las cercanías de la ciudad de Badajoz y 3 en la región EUROACE, en Portugal.

Todas las estaciones fijas de la RAREx permiten la monitorización continua de la tasa H_{10} . Cinco de esas estaciones, indicadas en la Figura 1, monitorizan en tiempo cuasi-real el aire, mediante un sistema basado en espectrometría gamma,

de manera que es posible identificar y cuantificar las actividades de los isótopos involucrados en cualquier alteración de los niveles radioactivos de la atmósfera.

Otras tres de las estaciones fijas de la RAREx realizan la monitorización de las aguas, incorporando espectrometría gamma. Dos están en el río Tajo, concretamente en el embalse de Valdecañas (aguas arriba de la CNA) y junto al canal de descarga del embalse de Arrocampo (aguas abajo de la CNA). Adicionalmente, esta estación incluye un sistema de detección en tiempo cuasi-real de la actividad del tritio en el rango ambiental que ha sido desarrollado en el marco de una colaboración internacional. La tercera estación está ubicada en el río Guadiana, aguas abajo del Hospital Universitario Infanta Cristina de Badajoz.

Adicionalmente, la RAREx dispone de un laboratorio móvil terrestre de diseño propio, con el que se puede monitorizar de forma georreferenciada niveles de tasa H_{10} y de actividad isotópica de los suelos y, además, localizar fuentes huérfanas. Asimismo, es posible caracterizar suelos *in situ* y analizar *in situ* muestras previamente colectadas, a través de un espectrómetro gamma de alta resolución. Por último, se dispone de un dron dotado con espectrómetros gamma y las tecnologías necesarias, para la localización, identificación y cuantificación de actividad de fuentes radiactivas.

ACTUALES CAPACIDADES ANALÍTICAS

Estaciones de monitorización de aire

Las 17 estaciones fijas de la RAREx poseen contadores Geiger-Müller para la monitorizar la tasa H_{10} en los entornos en donde se localizan. Este parámetro es considerado esencial en la vigilancia radiológica ambiental a nivel internacional [6], debido a que es medido por sistemas con pronta y adecuada respuesta frente a exposiciones significativas

de radiación (típicamente sensibilidades en el rango 10 nSv/h-10 Sv/h, dentro del intervalo energético de 45 keV-2 MeV). Sin embargo, con estos equipamientos es imposible identificar los radionucleidos causantes de una alteración radiactiva en el ambiente.

Por ello, durante al inicio de la RAREx, algunas estaciones estratégicamente seleccionadas se dotaron con el sistema BAI-9850-6 [7]. Este realiza la retención en continuo de aerosoles sobre un filtro de fibra de vidrio, mediante una bomba de aspiración. El depósito producido es analizado por un doble detector de $SZn(Ag)$ +plástico, proporcionando los índices de actividad alfa y beta total de origen antropogénico y la concentración equivalente de radón. Estas medidas tienen una limitación analítica, ya que resulta imposible identificar a los radionucleidos involucrados en una alteración radiológica. Además, el sistema incorpora un segundo módulo para la monitorización de radioyodos gaseosos, que son retenidos en un filtro con carbón activo. Frente al filtro se sitúa un detector de $NaI(Tl)$, con una cadena electrónica basada en dos monocanales, que solamente permite determinar adecuadamente actividades elevadas de ^{131}I .

Por todo ello, en la RAREx, se procedió a una modificación sustancial de las citadas estaciones [8], Figura 2, consistente en la sustitución de los sistemas de detección originales por sistemas espectrométricos gamma con detectores de centelleo sólido asociados a analizadores multicanales compactos. Los detectores seleccionados son de tamaño 2"x2", utilizando de $LaBr_3(Ce)$ para el análisis de la fracción particulada y de $NaI(Tl)$ para el análisis de la fracción gaseosa, ya que, si se produjera una alteración radiactiva artificial en la atmósfera, sería esperable la presencia en la fracción particulada de una amplia variedad de isótopos radiactivos, más fácilmente identificables con el detector que cuenta con mejor resolución energética.

Otros cambios importantes han sido: el depósito de los aerosoles y su medida se realiza de forma estándar cada 6

horas, en una zona fija del filtro de fibra de vidrio, situándola fuera del blindaje una vez finalizada su medida. Se ha incorporado un intercambiador automático para los filtros de carbón activo. Se ha implantado una lógica de adquisición y análisis automático de espectros que permiten al sistema funcionar como red de emergencia, con espectros de 10 minutos, y como red de vigilancia, con espectros de 6 y 24 h.

Además, en estas estaciones se monitorizan otros parámetros para la identificación de anomalías operacionales, como son la temperatura de la estación, los caudales de aspiración de las bombas y los voltajes de entrada y salida de los SAI a los que están conectados los sistemas de medida. Asimismo, estas estaciones cuentan con una estación meteorológica, para facilitar la interpretación de ciertas anomalías radiológicas. Finalmente, ciertas estaciones disponen de grupo electrógeno que aporta una autonomía de unas 14 horas en el caso de corte de suministro eléctrico.



Estaciones de monitorización de aguas

Las estaciones de monitorización de aguas inicialmente operativas en la RAREx eran las BAI-9125 [9]. Estas contaban con un detector de NaI(Tl) dentro de una vasija blindada de 25 L, por la que circula un flujo continuo de agua y una cadena electrónica basada en monocanales para cuantificar las actividades del ^{131}I y ^{137}Cs . Además de la obvia limitación en el número de radionucleidos monitorizables, las actividades así calculadas eran influenciadas por la alteración del fondo radiactivo natural de la propia vasija.

Por ello, se sustituyó dicho sistema por detectores de centelleo sólido, de NaI(Tl) 2"x2" en la estación de Valdecañas, de LaBr₃(Ce) 2"x2" en la de Arrocampo y de NaI(Tl) 3"x3" en la de Badajoz, a los que se asociaron los correspondientes analizadores multicanales compactos. La elección del tipo de detector y de su tamaño, se basa en la posible gama de radionucleidos a detectar y límite de detección a alcanzar. Además, el sistema analiza espectros de 10 minutos, 6 y 24 horas. Otras modificaciones realizadas en estas estaciones han sido, por ejemplo, la incorporación de electroválvulas o la retención automatizada de una muestra ante la presencia de actividades anómalas [10].

En la Figura 3 se muestra la configuración actual de la estación del embalse de Arrocampo que, adicionalmente, cuenta con un sistema para la medida de tritio en aguas. Este es fruto de una colaboración de las Universidades de Extremadura, Valencia y Aveiro (Portugal), el CENBG de Burdeos (Francia) y la Junta de Extremadura, que ejecutaron el proyecto TRI-TIUM, financiado por el programa INTERREG-SUDOE de la Unión Europea. El objetivo era desarrollar un equipo de monitorización del H-3 en tiempo cuasi-real con un límite de detección de unos 100 Bq/L, que es el nivel máximo establecido en aguas de consumo humano [11]. Para ello, se construyó un detector basado en fibras ópticas de centelleo, con su-

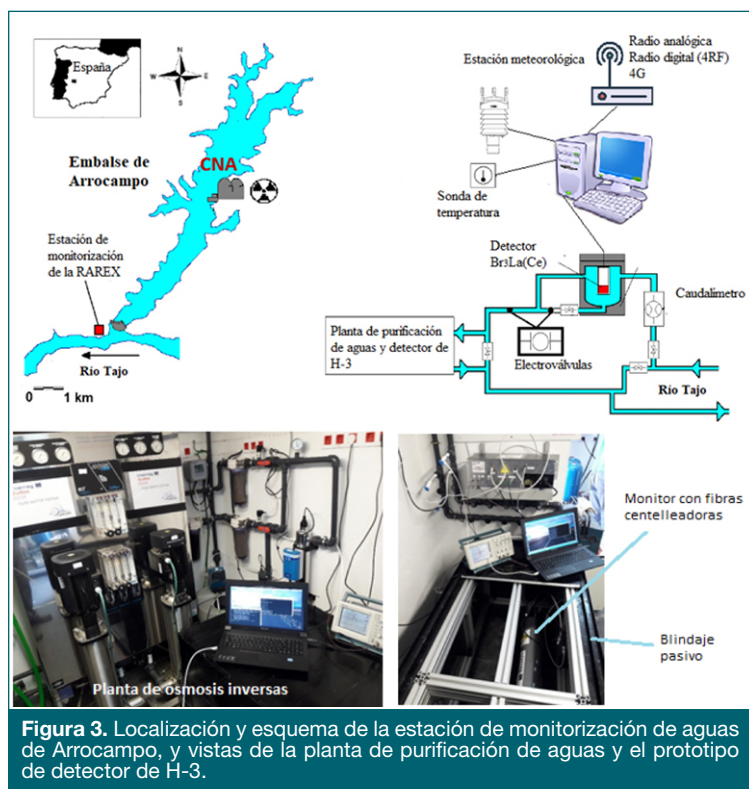


presión del fondo de radiación cósmica de carácter activo y pasivo. Dada la debilidad de la emisión beta del H-3 (5.682 keV de energía y 1 μm de alcance, en promedio), esta es no detectable en aguas con gran nivel de impurezas. Por ello, se desarrolló una planta de tratamiento del agua que, tras diversas etapas de filtrado y un doble sistema de ósmosis, produce 0.8 m³/h de agua con un alto nivel de pureza biológica (< 5 CFU/mL) y 12 $\mu\text{S}/\text{cm}$, maximizando la capacidad de detección del H-3 mediante el detector construido.

Laboratorio móvil terrestre

La RAREx dispone de un laboratorio móvil (LM) configurado sobre un vehículo terrestre, Figura 4, cuya versión inicial se describe en un trabajo anterior [12] pero que, actualmente, cuenta con más capacidades analíticas y funcionales.

Los sistemas de detección del LM son: a) Dos contadores proporcionales que funcionan en el rango de 0.005 $\mu\text{Sv/h}$ -1 mSv/h. El primero, ubicado en el frontal del vehículo, es utilizado para monitorizar en tiempo cuasi-real y de forma georreferenciada la tasa H₁₀. El segundo instalado en un trípode realiza medidas en zonas inaccesibles para el vehículo. b) Un sistema de espectrometría gamma con un detector coaxial portátil de Hp-Ge tipo P, de un 43 % de eficiencia relativa y que realiza espectrometrías gamma in situ de suelos, aunque también se usa para el análisis de diferentes tipos de muestras colectadas durante los desplazamientos del vehículo. c) Dos detectores de



centelleo de NaI(Tl) y tamaño 3"x3" colocados a izquierda y derecha del vehículo que proporcionan resultados analíticos georreferenciados para la localización de fuentes huérfanas.

El LM está equipado de una estación meteorológica, dos sistemas GPS, vías de comunicación GSM y satélite, que

conmutan automáticamente cuando una de ellas falla, y un sistema de presurización del interior del vehículo para minimizar la contaminación del personal responsable de su uso durante una intervención en presencia de contaminación atmosférica. La información registrada es gestionada a través de un software de desarrollo propio. Y, finalmente, el LM cuenta con un grupo electrolítico capaz de proporcionar 4 kW durante 10-14h.

Como ilustración del funcionamiento del LM, la Figura 5 muestra un mapa de isodosis generado a partir de la superposición de las medidas georreferenciadas obtenidas durante tres itinerarios realizados, en diferentes simulacros en el entorno de la CNA.

Vehículo aéreo tripulado de forma remota

La RAREx dispone de un vehículo aéreo tripulado de forma remota, RPAS, tipo dron, para la localización, identificación y caracterización de alteraciones radiológicas. Este es un multirrotor de 8 hélices FV8, cuya carga máxima es de 7 kilogramos y el tiempo de vuelo máximo, sin carga, es de 30 minutos.

El sistema de medida integrado en el dron, ha sido diseñado de forma modular, permitiendo así la carga de solo aquellos equipos requeridos para la misión que se vaya a realizar. Los tres espectrómetros disponibles son los siguientes: uno con detector de CsI(Tl) de tamaño 25.4×25.4×25.4 mm³ y cadena electrónica integrada [13] y que se usa para labores de reconocimiento preliminar de un terreno, debido a que su menor masa permite mayor autonomía. Otros dos espectrómetros, uno con detector LaBr₃(Ce) tamaño 1.5"x1.5" y otro con detector NaI(Tl) tamaño 3"x3", ambos asociados a un analizador multicanal compacto, que se utilizan para una caracterización más precisa de las anomalías radiológicas.

Al dron se le han incorporado otros elementos, como un sensor de ultrasonidos para medir la distancia al objeto monitorizado, otro de temperatura para hacer las correcciones necesarias del desplazamiento de los picos en los espectros, una cámara estereoscópica y un módulo GPS.

En la Figura 6 se muestra al dron realizando un ejercicio de detección de una fuente de ¹³⁷Cs.

GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN Y AYUDA A LA TOMA DE DECISIONES Y GESTIÓN DE LA CALIDAD

La configuración actual de la RAREx implica la gestión diaria de unos 200 000 datos que deben analizarse con la suficiente agilidad para mantener la eficacia propia de una red de alerta temprana. Por ello, uno de los retos ha sido desarrollar herramientas propias de *software* para revisar diariamente la información y para la indispensable ayuda a la toma de decisiones.

Así, el programa "GráficasRAREx", Figura 7, permite supervisar diferentes grupos de datos que son monitorizados: i) Tasa H₁₀ comparada con nivel de

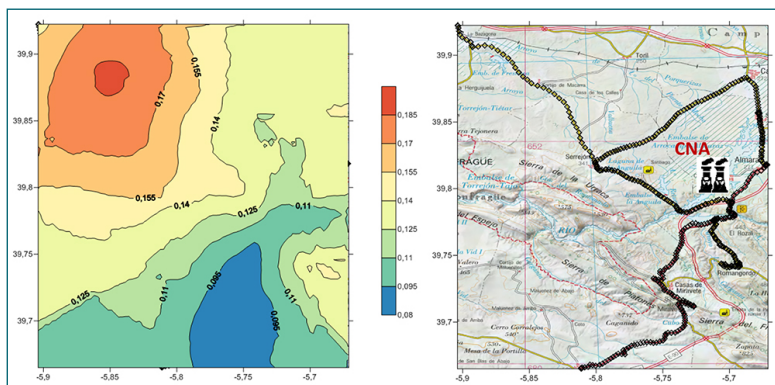


Figura 5. Mapa de isodosis (unidades µSv/h) del entorno de la CNA generado a partir de la tasa H10 registrada por el LM de la RAREx.

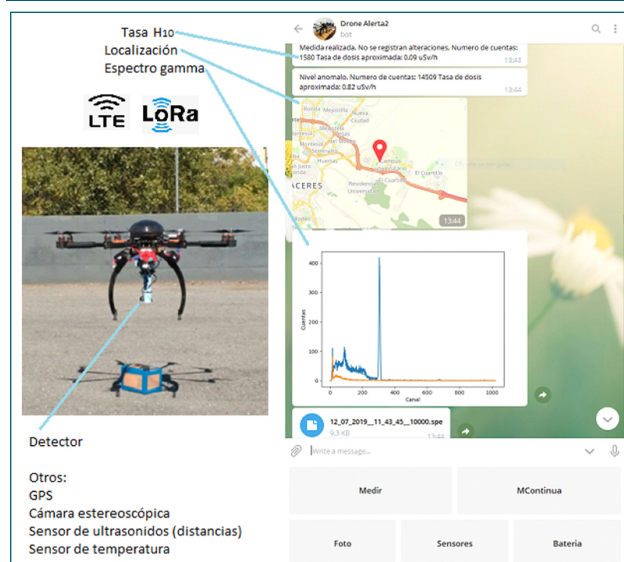


Figura 6. Dron de la RAREx durante un ejercicio de localización de una fuente radiactiva e información enviada a un teléfono móvil al ser demandada usando la aplicación Telegram™.

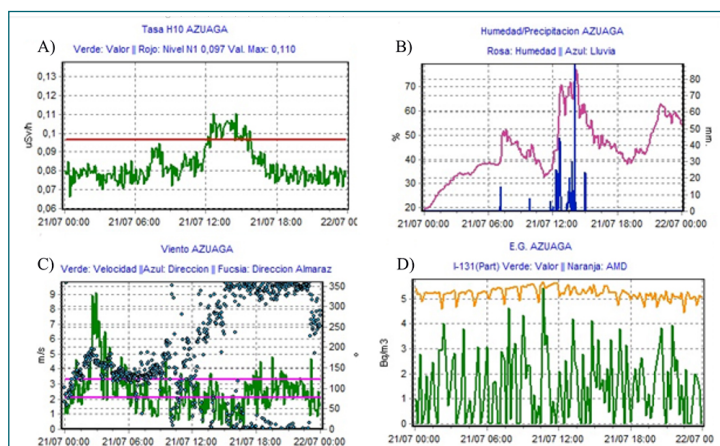


Figura 7. Ejemplo en "GráficasRAREx" de (A) un incremento de tasa H₁₀, consecuencia de lluvias (líneas azules en B), sin vientos procedentes de la instalación nuclear (puntos azules en C). (D) Evolución de la actividad y del AMD del ¹³¹I.

prealerta. ii) Actividad detectada y mínima detectable de los emisores gamma monitorizados. iii) Datos meteorológicos y parámetros operacionales esenciales (voltajes de entrada y salida, temperatura, caudales de aire o agua, etc.).

Paralelamente, la aplicación "Monitoriza" realiza el envío de SMS a teléfonos móviles de las anomalías radiológicas producidas. Para ello, tiene establecida una serie de reglas que, considerando el número de estaciones afectadas, la significancia radiológica y su duración, clasifica los mensajes en prealerta, alerta y alarma.

Finalmente, indicar que, dada la relevancia de la información gestionada por la RAREx, se decidió implantar un Sistema de Gestión de la Calidad, que le aportase una garantía externa. En 2008, la RAREx fue certificada por la norma ISO9001 con el alcance "Control, seguimiento y mantenimiento de la RAREx". Adicionalmente, desde 2017, la RAREx tiene acreditada su competencia técnica, con el alcance "Tasa de dosis de radiación externa por contador de gas sellado (>0.015 mSv/h)", a través de la norma ISO/IEC17025. Entre todos los requisitos a cumplir para alcanzar dicha acreditación, destacan i) la calibración externa por una entidad acreditada de los monitores de tasa H_{10} , ii) los controles de calidad establecidos para las medidas de ese parámetro radiológico, incluyendo la adquisición periódica de medidas duplicadas y de fuentes de referencia en cada estación, iii) la exitosa participación en ejercicios de intercomparación de carácter internacional, como la organizada por el Instituto de Seguridad Nuclear de Francia (ISRN) en 2018, donde participaron 44 laboratorios europeos.

CONCLUSIONES

El funcionamiento de la RAREx en la Comunidad Autónoma de Extremadura, desde sus inicios, ha tenido como objetivo el garantizar la obtención en tiempo cuasi-real la máxima información radiológica que fuera posible, en zonas susceptibles de producirse algún tipo de alteración. Para ello, el grupo de investigación LARUEX, ha realizado una intensa labor para mejorar la amplitud y calidad de esta vigilancia automatizada radiológica ambiental. El resultado es: 1) La integración en la red de desarrollos innovadores, como la espectrometría gamma, en las estaciones de monitorización de aire y agua; 2) La puesta en funcionamiento de una planta piloto para la determinación de los contenidos de tritio en agua a niveles cuasi-ambientales; 3) El diseño, construcción e integración en la red de un laboratorio móvil terrestre y un dron. Todo ello, junto con el desarrollo herramientas informáticas propias, que son capaces de gestionar eficazmente la información producida y ayudar a la toma de decisiones, ha permitido que su funcionamiento esté avalado por las normas ISO9001:2015 y ISO/IEC17025:2017.

AGRADECIMIENTOS

La RAREx existe gracias a la permanente colaboración y cofinanciación de la Junta de Extremadura y el Consejo de Seguridad Nuclear, por lo que mostramos nuestro público agradecimiento. Igualmente, ha sido esencial la financiación que el grupo LARUEX ha obtenido mediante diversos proyectos de investigación.

REFERENCIAS

- [1]. Versión consolidada del Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea (2010). ISBN 978-92-824-2555-8.
- [2]. Red de estaciones automáticas del Consejo de Seguridad Nuclear. Disponible en: <https://www.csn.es/varios/rea/index.html> [Consultado 21 enero 2021].
- [3]. Red de Alerta Radiológica de Protección Civil. Disponible en: <http://www.proteccioncivil.es/que-hacemos/rar/presentacion> [Consultado 21 enero 2021].
- [4]. Casanovas, R., Morant, J.J., López, M., Hernández-Girón, I., Batalla, E., Salvadó, M. (2011) Performance of data acceptance criteria over 50 months from an automatic real-time environmental radiation surveillance network. *Journal of Environmental Radioactivity*, 102(8), 742-748.
- [5]. Baeza, A., Del Puerto, J. A., Del Río, M., Miró, C., Ortiz, F., & Paniagua, J. M. (1993). Development and operativity of a real-time radiological monitoring network centered on the nuclear power plant of Almaraz, Spain. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 40(6), 2014-2020.
- [6]. DIRECTIVA 96/29/EURATOM DEL CONSEJO de 13 de mayo de 1996, por la que se establecen las normas básicas relativas a la protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes.
- [7]. Berthold Technologies, 1997. Combined particulates-iodine monitor BAI 9850-6, Standard Manual.
- [8]. Baeza, A., Corbacho, J. Á., Caballero, J. M., Ontalba, M. Á., Vasco, J., & Valencia, D. (2017). Development of an advanced radioactive airborne particle monitoring system for use in early warning networks. *Journal of Radiological Protection*, 37(3), 642-658.
- [9]. Berthold Technologies. 1992. BAI-9125 water monitoring system. Manual.
- [10]. Baeza, A., Caballero, J. M., Corbacho, J. Á., Ontalba, M. Á., & Vasco, J. (2014). Proposed improvements to existing water monitoring systems in automatic radiological warning networks. *Journal of Radiological Protection*, 34(2), 313-324.
- [11]. DIRECTIVA 2013/51/EURATOM DEL CONSEJO de 22 de octubre de 2013, por la que se establecen requisitos para la protección sanitaria de la población con respecto a las sustancias radiactivas en las aguas destinadas al consumo humano.
- [12]. Baeza, A., Corbacho, J. A., & Miranda, J. (2013). Design and implementation of a mobile radiological emergency unit integrated in a radiation monitoring network. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 60(2), 1400-1407.
- [13]. Caesium Iodide Scintillator Radiation Detector-Kromek. Disponible en: <https://www.kromek.com/product/signa-scintillator-detectors/> [Consultado 21 enero 2021]. ■