

Sistema de gestión de la información de un laboratorio para la medida de la radiactividad en muestras de agua (Meragua)

A Laboratory Information Management System For The Analysis Of Radioactivity In Waters

L. Pujol^{1*}, L. García-Pelo²

Resumen

El Laboratorio de Aplicaciones Isotópicas del CEDEX realiza la vigilancia radiológica ambiental de las aguas continentales, aguas marinas españolas y aguas de consumo por encargo del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN). Este programa se enmarca dentro de los programas de vigilancia radiológica ambiental de ámbito nacional que desarrolla el CSN con diferentes entidades para dar cumplimiento al Tratado Euratom en sus artículos 35 y 36. En dichos artículos se especifica que cada Estado miembro deberá controlar el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y del suelo, y que la información relativa a los controles deberá ser comunicada por las autoridades competentes a la Comisión.

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. 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.

Palabras clave: Sistema de gestión de la información, radiactividad, control de calidad

Abstract

The Isotope Applications Laboratory of the Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) performs the environmental radiological surveillance of inland waters, Spanish marine waters and drinking water on behalf of the Nuclear Regulatory Authority of Spain (CSN). This program is part of the national environmental radiological surveillance network developed by the CSN with different organizations to comply with the Euratom Treaty. In its articles 35 and 36 is specified that each member state must control the radioactivity of the atmosphere, water and soil, and that the information relating to the controls must be communicated by the competent authorities to the Commission.

The information generated from the different analytical determinations performed by the Isotope Applications Laboratory for the measurement of water radioactivity (gross alpha, gross beta, residual beta, direct tritium, electrolytic tritium enrichment and gamma spectrometry) is stored in a database with Microsoft Access® that centralizes all the information of the samples. This database is managed by a software named Meragua (Measurements of Radioactivity in Water) developed using Microsoft Visual Basic®.net tool.2015. This software is used for the management and control of samples, in regard to its reception in the laboratory, preparation, measurement, calculation of activities, storage of results and output thereof in different types of reports.

Keywords: Laboratory information system, radioactivity, quality control

1. INTRODUCCIÓN

La presencia de sustancias radiactivas en el medio ambiente es debida, fundamentalmente, a fuentes naturales de radiación que pueden variar de unas zonas a otras. Los radionucleidos de origen artificial liberados en la producción de energía núcleo-eléctrica, en las aplicaciones para

usos médicos, en la industria y en la investigación, también contribuyen a la radiactividad presente en el medio ambiente, aunque en menor proporción (UNSCEAR, 2010). Ante esta situación, surge la necesidad de establecer programas de vigilancia radiológica que permitan detectar y vigilar la presencia de estas sustancias radiactivas presentes en el medio ambiente (sean de origen natural o artificial), seguir su evolución en el tiempo, y estimar el posible riesgo radiológico, a fin de adoptar las medidas necesarias de protección radiológica del público y del medio ambiente.

En 1957 se firma el Tratado Euratom que establece que los estados miembros están obligados a crear las instalaciones necesarias a fin de controlar de modo permanente el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y de

* Autor de contacto: luis.pujol@cedex.es

¹ Doctor en Física. Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CEDEX). Ministerio de Fomento.

² Alumna en prácticas del I.E.S. Palomeras-Vallecas. Convenio para la Formación en Centros de Trabajo (FCT).

los suelos, estableciendo redes y programas de vigilancia radiológica en cada uno de ellos, y dar así cumplimiento al artículo 35 y 36 de ese tratado (Euratom, 2010).

El encargado de la Red de Vigilancia Radiológica Ambiental Española es el Consejo de Seguridad Nacional (CSN) (Ramos y Salas, 2005). Entre las misiones encomendadas al CSN se encuentra la de supervisar las medidas de protección radiológica del público y del medio ambiente. En consecuencia, el CSN ha desarrollado un sistema de redes de vigilancia que está integrado por (CSN, 2018):

- *Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental (PVRA)*, que se realizan en los entornos de las instalaciones nucleares (centrales nucleares y otras instalaciones del ciclo del combustible nuclear).
- *Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (REVIRA)*, que tiene por objeto vigilar los niveles de radiactividad ambiental en el territorio nacional y, que a su vez, está constituida por:
 - *Red de Estación Automática (REA)*, es una vigilancia en tiempo real de la radiactividad de la atmósfera, que permite la vigilancia en continuo de la tasa de radiación gamma y de concentración radiactiva en aire (radioyodos, radón y emisores alfa y beta). La REA está integrada por 25 estaciones radiológicas automáticas que comparten emplazamiento con estaciones meteorológicas automáticas de la AEMET (Agencia Estatal de Meteorología).
 - *Red de Estación de Muestreo (REM)*, donde se recogen diversos tipos de matrices (suelo, aguas,

dieta tipo, alimentos, leche, aerosoles, etc.) para su análisis posterior en laboratorios de medida de radiactividad ambiental, lo que permite obtener niveles de detección inferiores a los alcanzados con los equipos automáticos. A partir de la recomendación de la Comisión de 8 de junio de 2000 (Euratom, 2010) se consideró la necesidad del desarrollo de dos redes de vigilancia dentro de la REM:

- La red “densa” formada por estaciones de muestreo distribuidas por todo el territorio de los Estados miembros, de modo que permita a la Comisión Europea establecer medias regionales de niveles de actividad.
- La red “espaciada” que incluye para cada región y para cada medio de muestreo como mínimo un emplazamiento representativo de esa región. En estos emplazamientos deberán llevarse a cabo mediciones de gran sensibilidad, con lo que se ofrecerá una representación transparente de los niveles y las tendencias reales de los índices de radiactividad.

Para la ejecución de estos programas el CSN ha establecido acuerdos de colaboración con diferentes universidades e instituciones. Uno de los laboratorios que pertenece a este programa es el Laboratorio de Aplicaciones Isotópicas (LAI), que pertenece al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

El CEDEX es un organismo autónomo que depende orgánicamente del Ministerio de Fomento, y funcionalmente



Figura 1. Puntos de muestreo para la Red de vigilancia del medio acuático de España que realiza en CEDEX por encargo del CSN (CSN, 2018).

del Ministerio de Fomento y del Ministerio para la Transición Ecológica. El CEDEX inició los programas de vigilancia radiológica en las aguas continentales españolas en 1976. Posteriormente, la incorporación de España a la Comunidad Europea hizo obligatorio (como consecuencia de la firma del Tratado Euratom) la implantación de estas redes de vigilancia, pasando la red iniciada por el CEDEX a ser gestionada por el CSN. En la actualidad, el LAI analiza muestras en setenta y siete puntos distribuidos en las principales cuencas hidrográficas españolas, en las aguas costeras y en aguas procedentes de abastecimientos (figura 1).

La determinación de niveles muy bajos de radiactividad requiere de técnicas específicas de preparación de muestras, el empleo de detectores de radiación muy sofisticados con cadenas electrónicas de gran estabilidad y técnicas de cálculo fiables.

En el siguiente trabajo se describen en el apartado 2, los ensayos que realiza el LAI para las redes densa y espaciada dentro de la Red REM del CSN, en el apartado 3, se describen los detectores de radiactividad que se utilizan para la medida de los diferentes parámetros radiactivos y, finalmente, en el apartado 4, se describe el Meragua que es el sistema de gestión de la información que se utiliza en el LAI para gestionar los datos y resultados que se genera en las diferentes determinaciones analíticas.

2. ENSAYOS QUE REALIZA EL LAI

El LAI está acreditado como laboratorio de ensayo en protección radiológica con la norma UNE EN-ISO/IEC 17025, con la acreditación N°82/LE1955 (se puede consultar en: <https://www.enac.es/documents/7020/6defd898-3d76-4ced-871a-3e279fc111cb>).

Dentro de su alcance de acreditación están los siguientes ensayos: índice de actividad alfa total, beta total, beta

resto, actividad de tritio directo en aguas continentales y de consumo y tritio por concentración electrolítica en aguas marinas. Fuera del alcance de acreditación el laboratorio realiza los siguientes ensayos: espectrometría gamma y cesio-137. Además, en todas las muestras de agua que gestiona el laboratorio (figura 2), se determinan los siguientes parámetros químicos: aspecto, conductividad, pH y concentración de potasio. Previo a la realización de cada ensayo se realiza el fraccionamiento de las muestras para extraer de la muestra original las alícuotas necesarias para realizar los diferentes análisis.

2.1. Fraccionamiento de muestras para cada ensayo

El laboratorio dispone de dos procesos de fraccionamiento distintos en función de la matriz debido a las diferentes características de la matriz de agua continental y de consumo (figura 3) y de la matriz de aguas marinas (figura 4).



Figura 2. Laboratorio de Química del LAI.

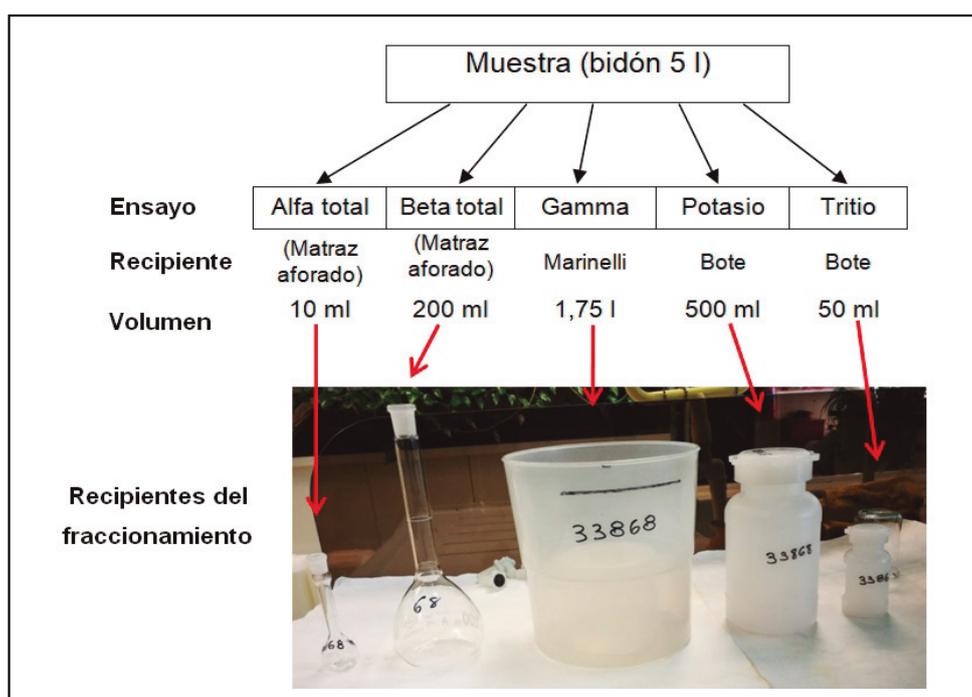


Figura 3. Fraccionamiento de las muestras de aguas continentales y de consumo.

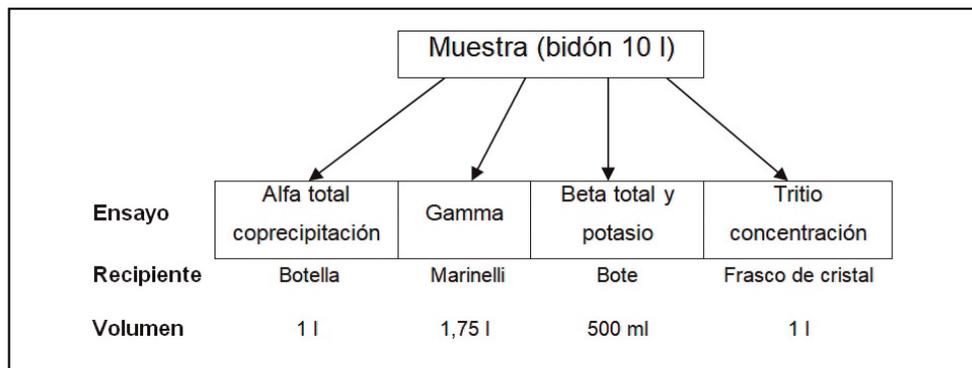


Figura 4. Fraccionamiento de las muestras de agua de mar.

2.2. Determinación del índice de actividad alfa total

La preparación química del índice de actividad alfa total varía según el tipo de matriz de muestra de agua. Para aguas continentales y de consumo se utiliza el método de evaporación directa. En este método la muestra de agua es concentrada por evaporación hasta un pequeño volumen, que se lleva a sequedad en una plancheta de acero inoxidable (figura 5a). Para su medida debe colocarse encima de la plancheta un detector de centelleo sólido de ZnS(Ag) (figura 5b). La actividad mínima detectable (AMD) alcanzada mediante este método, con un volumen de 10 ml y un tiempo de recuento de 24 h es de 0,03 Bq/l.

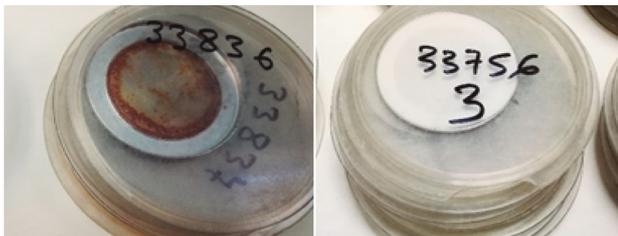


Figura 5. a) Plancheta alfa y b) plancheta alfa con detector de ZnS(Ag). En ambos casos las muestras están dentro de cápsulas Petri.

Para aguas marinas, las muestras se preparan por el método de coprecipitación (figura 6), que consiste en una primera coprecipitación del radio presente en la muestra mediante la formación de un precipitado de sulfato de bario. A continuación se coprecipitan el polonio y los actínidos; arrastrándose a su vez el precipitado de sulfato de bario y radio formado en la etapa anterior. Ambos precipitados se separan conjuntamente por filtración (Suarez-Navarro y otros, 2002). En este método la medida se realiza mediante un detector de centelleo sólido de ZnS(Ag). La actividad mínima detectable (AMD) alcanzada con esta



Figura 6. a) Filtración del precipitado final y b) plancheta con la muestra filtrada dentro de un desecador.

técnica procesando un volumen de 500 ml y con un tiempo de recuento de 24 h es de 4 mBq/l.

2.3. Determinación del índice de actividad beta total

La preparación de la muestra para la determinación del índice de actividad beta total se realiza concentrando un volumen de agua por evaporación en un cristizador hasta un pequeño volumen de muestra que, finalmente, se lleva a sequedad en una plancheta de acero inoxidable (figura 7). En el caso de aguas continentales y de consumo el volumen de muestra es de 200 ml y, en el caso de aguas marinas de 10 ml. La medida de la muestra se realiza mediante un contador proporcional de flujo continuo de gas. La AMD alcanzada en aguas continentales y de consumo, con un volumen de 200 ml y un tiempo de recuento de 300 minutos es de 0,04 Bq/l. La AMD alcanzada en aguas marinas, con un volumen de 10 ml y un tiempo de recuento de 300 minutos es de 0,70 Bq/l.



Figura 7. a) Tanda de planchetas beta con muestras de aguas continentales y b) Tanda de planchetas con muestras de aguas marinas.

2.4. Determinación del índice de actividad beta resto

La actividad beta debida al potasio-40 se determina a partir de la concentración de potasio natural de la muestra y del índice de actividad beta total, como la diferencia entre el índice de actividad beta total y el índice de la actividad beta correspondiente al potasio-40 (Suarez-Navarro y Pujol, 2004). El factor que convierte la concentración del potasio en mg/l a desintegraciones, expresado en Bq/l, es 0,02711. La AMD alcanzada mediante este método es de 0,04 Bq/l, en aguas continentales y de consumo. En el caso de aguas marinas, la AMD es de 0,70 Bq/l.

2.5. Análisis de la concentración de potasio

La concentración de potasio-40 se deduce de la concentración de potasio natural del agua que se mide por espectrofotometría de emisión atómica.

Para la medida de muestras de aguas continentales y de consumo, el potasio se mide directamente de la alícuota obtenida al fraccionar (figura 8), se prepara un blanco (100 ml de agua desionizada) y cinco patrones de 1 ppm, 3 ppm, 5 ppm, 7 ppm y 9 ppm. Los valores obtenidos en estas muestras suelen oscilar entre 1-10 ppm.

Para la medida de concentración de potasio en aguas marinas, las muestras deben ser previamente diluidas al 1%, es decir se coge un matraz de 100 ml se añade 0,1 g de CsCl (cloruro de cesio) y 1 ml de la muestra y se enrasa con agua desionizada. Esto es conocido como el método del supresor de ionización (CsCl) para evitar interferencias de otros elementos químicos. Además se preparan un blanco (en un matraz de 100 ml se añade 0,1 g de CsCl y se enrasa con agua desionizada) y cuatro patrones de 2 ppm, 4 ppm, 6 ppm y 8 ppm. Los valores obtenidos de las muestras marinas, oscilan entre 380 ppm y 430 ppm siendo la incertidumbre asociada de ± 8 ppm.

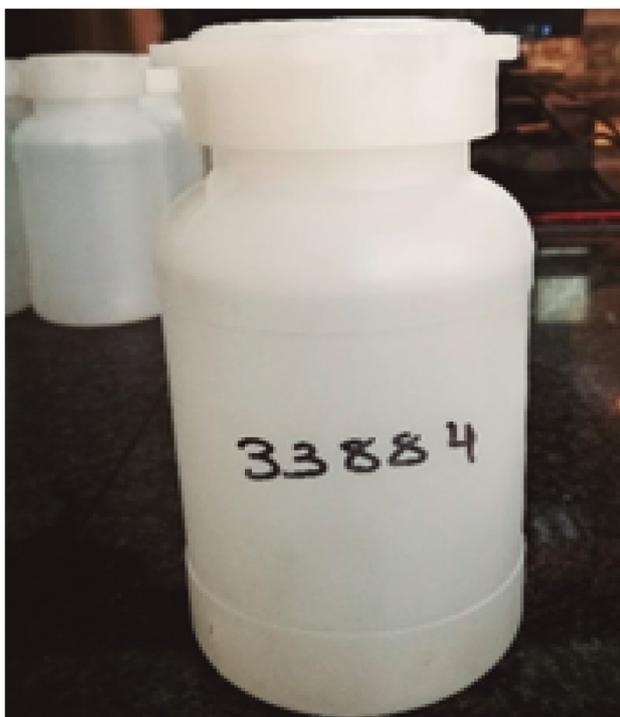


Figura 8. Bote de fraccionamiento de la muestra para análisis de potasio.

2.6. Determinación de la actividad de tritio

La determinación de la actividad de tritio puede ser realizada por el método de medida directa o por el método de concentración electrolítica.

En el método de medida directa, la muestra se filtra y se vierten 10 ml en un vial de polietileno (figura 9) donde se mezcla con 12 ml de un cóctel de centelleo (Ultima Gold LLT, PerkinElmer), formando un gel homogéneo. La AMD alcanzada mediante este método, con un volumen de muestra de 10 ml y un tiempo de recuento de 360 minutos es de 3 Bq/l (Pujol y Sanchez-Cabeza, 1999).



Figura 9. Vial de 20 ml para el análisis tritio en un equipo de centelleo líquido.

En el método de concentración electrolítica, una muestra de 500 ml de agua se destila (figura 10), se realiza su descomposición electrolítica durante 8 días, obteniéndose un volumen de aproximadamente 12 ml de tritio enriquecido y, finalmente, se realiza una segunda destilación. 10 ml de la muestra destilada se trasvasan a un vial de centelleo y se mezclan con 12 ml de cóctel (Ultima Gold LLT, PerkinElmer) para su medida en un detector de centelleo líquido. La AMD obtenida para un volumen de muestra de 500 ml y un tiempo de recuento de 360 minutos, es de 0,05 Bq/l (Pujol y otros, 2004).



Figura 10. Primera destilación de la muestra para el análisis de tritio por concentración electrolítica.

2.7. Espectrometría gamma

La determinación de radionucleidos emisores gamma se realiza midiendo las muestras en un recipiente denominado Marinelli (figura 11). La medida se realiza utilizando detectores de germanio ultrapuro (HPGe). La actividad mínima detectable (AMD) 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 (Pujol y González de Orduña, 2008).

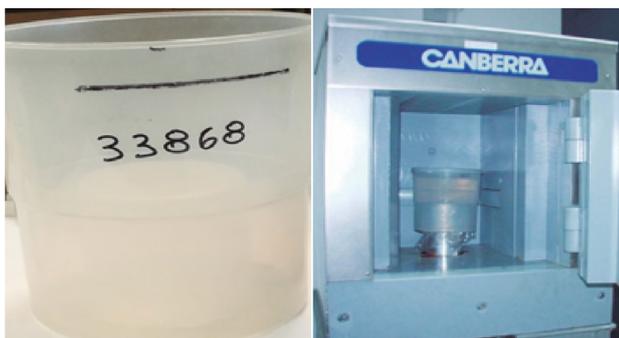


Figura 11. a) Recipiente Marinelli y b) Muestra en equipo de medida.

2.8. Determinación del cesio-137

El volumen de muestra de agua para la determinación del cesio-137 en aguas continentales es de 350 litros y, en el caso de aguas marinas de 50 litros. El proceso es el mismo en ambas matrices de agua. En ambos casos a la muestra se le añade inicialmente un portador de cesio estable, trazador de cesio-134 y, finalmente después de acidular la muestra, se añade una cantidad determinada de molibdo-fosfato amónico (AMP) que arrastra el cesio de la muestra. En general, con 0,5 g de AMP por litro de muestra, y 0,6 mg de Cs⁺ por litro de muestra, los rendimientos químicos son próximos al 100%. El precipitado así formado se deja en reposo, al menos 24 horas y, en sucesivas etapas, se elimina el agua sobrenadante (figura 12) para adaptar al final la muestra a un recipiente adecuado para su recuento por espectrometría gamma de alta resolución (Pujol y Suarez-Navarro, 2002).



Figura 12. a) Depósito de agua para el análisis de cesio-137 y b) muestra en embudo de decantación.

2.9. Parámetros químicos

Los parámetros químicos que se analizan en todas las muestras son los siguientes:

- **Determinación del aspecto:** el aspecto de cada muestra se especifica con el fin de registrar su apariencia física general. Para ello se describen brevemente sus características visibles, según la siguiente nomenclatura (tabla 1).

Tabla 1. Nomenclatura para el aspecto de las muestras

Aspecto de la muestra	
1	Aguas claras sin aparente contaminación.
2	Aguas débilmente coloreadas.
3	Aguas con apariencia de contaminación y color.
4	Aguas negras, con fermentaciones y olores.
5	Aguas muy terrosas.

- **Determinación de conductividad:** la conductividad de una muestra de agua indica la facilidad para conducir la corriente eléctrica y depende de la concentración de los iones presentes, a una temperatura dada, se mide mediante un conductivímetro. La conductividad se expresa en $\mu\text{S}/\text{cm}$.
- **Determinación de pH:** el pH es el indicador de la concentración de los iones hidrógeno presentes en la muestra de agua.

3. EQUIPOS DE MEDIDA DE RADIATIVIDAD

La medida de la radiactividad en muestras de aguas se realiza mediante unos equipos denominados detectores de radiación, que se suelen clasificar por el contenido del volumen sensible o de detección, por la forma de operar y por el tipo de radiación/ensayo. En función de esta clasificación, los detectores más habituales en los laboratorios de radiactividad ambiental que participan en los programas de vigilancia radiológica ambiental son los detectores de gas, los detectores de centelleo y detectores de semiconductor (tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los detectores de radiación

Volumen sensible o de detección	Forma de operar	Tipo de radiación/ensayo
Gas	Contador proporcional	Beta total y beta resto
Centelleo	Inorgánicos: ZnS(Ag)	Índice de actividad alfa
	Orgánicos: Líquidos	Tritio
Semiconductor	Germanio	Espectrometría gamma y cesio-137

3.1. Sistema de centelleo sólido de ZnS (Ag) para la medida de alfa total

La interacción de la radiación alfa con el ZnS (Ag) (centelleador sólido) produce unos destellos de luz que son recogidos por un tubo fotomultiplicador y la señal es procesada por una cadena electrónica (Figura 13). Encima de la plancheta que se ha obtenido del proceso de preparación alfa, se coloca una fina lámina de plástico en la que en una de sus caras se ha depositado una sustancia luminiscente. La radiación alfa al interaccionar con el centelleador, emite fotones en forma de destellos de luz (figura 14). Finalmente, un tubo fotomultiplicador, mediante un sistema de alta tensión en cascada, transforma el destello luminoso en un impulso eléctrico amplificado, susceptible de ser contado (Pujol y otros, 2000).



Figura 13. Detector de centelleo sólido de ZnS(Ag).

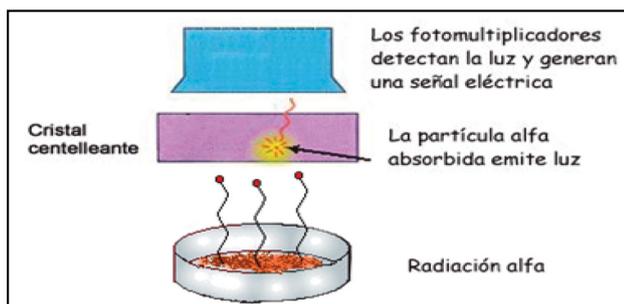


Figura 14. Esquema de detección de la radiación alfa en un detector de ZnS(Ag).

3.2. Contador Proporcional para la medida de beta total y beta resto

Este sistema de medida consiste en un detector de ionización gaseosa que está formado por un recinto lleno de una mezcla gaseosa (argón-metano) a presión controlada, en el que se encuentran dos electrodos aislados entre sí y a los que se aplica una tensión eléctrica (Pujol y otros, 2001). Al pasar una radiación el gas se ioniza y las cargas liberadas son atraídas por los electrodos de signo contrario, originándose impulsos eléctricos susceptibles de ser medidos (figura 15).



Figura 15. Contador proporcional de flujo continuo de gas Berthold 770-2.

3.3. Espectrofotómetro de Absorción Atómica para la medida de potasio

El potasio presente en las muestras es medido utilizando el sistema de emisión atómica. Esta técnica se basa en suministrar energía a la muestra mediante una llama con el fin de conseguir átomos en estado excitado. Estos átomos al volver al estado fundamental emiten energía luminosa a

una determinada longitud de onda. La densidad luminosa emitida es proporcional a la concentración del elemento en cuestión (figura 16).



Figura 16. Equipo de Espectrofotometría de Absorción Atómica.

3.4. Contador de centelleo en fase líquida para la medida de tritio

La muestra a medir se mezcla con un líquido orgánico de centelleo (cóctel), que es el que actúa como detector (ver tabla 2). Las radiaciones alfa y beta presentes en la mezcla excitan las moléculas del medio, que al desexcitarse emiten luz a una determinada longitud de onda. Esta luz es desplazada a aquellas longitudes de máxima detección de los tubos fotomultiplicadores del sistema contador. La señal es procesada por la correspondiente cadena electrónica (figura 17).



Figura 17. Detector de centelleo líquido.

3.5. Detectores de germanio ultrapuro (HPGe) para la medida de emisores gamma

La radiación gamma emitida produce desplazamientos de pares hueco-electrón en un semiconductor, que producen una señal electrónica que es recogida por la correspondiente cadena electrónica digital, produciendo una señal eléctrica que se registra y analiza con el software adecuado (figura 18).



Figura 18. Detectores de germanio ultrapuro (HPGe).

4. SISTEMA DE GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN DEL LABORATORIO

El LAI genera una gran cantidad de datos al determinar los diferentes parámetros radiológicos. Esta información se almacena en una base de datos diseñada en Microsoft Access y que es gestionada con una aplicación informática en la plataforma Microsoft Visual Studio, denominada MERAGUA (MEDidas de RAdiactividad en AGUA). Esta aplicación lleva cabo la gestión y control de las muestras, en lo que se refiere a su recepción en el laboratorio, preparación,

medida, cálculo de las actividades, almacenamiento de resultados y salida de los mismos en distintos informes (figura 19). El programa utiliza una estructura Cliente-Servidor, es decir dispone de una única base de datos pero se puede trabajar desde varios puestos (Payeras y otros, 2003).

La aplicación informática MERAGUA ha sido desarrollada utilizando un modelo de software denominado, LIMS. Los LIMS (Laboratory Information Management System o Sistema de Gestión de Información de Laboratorio) permiten la gestión de toda la información generada en el laboratorio y así cumplir con la norma UNE EN-ISO 17025 (UNE, 2017).

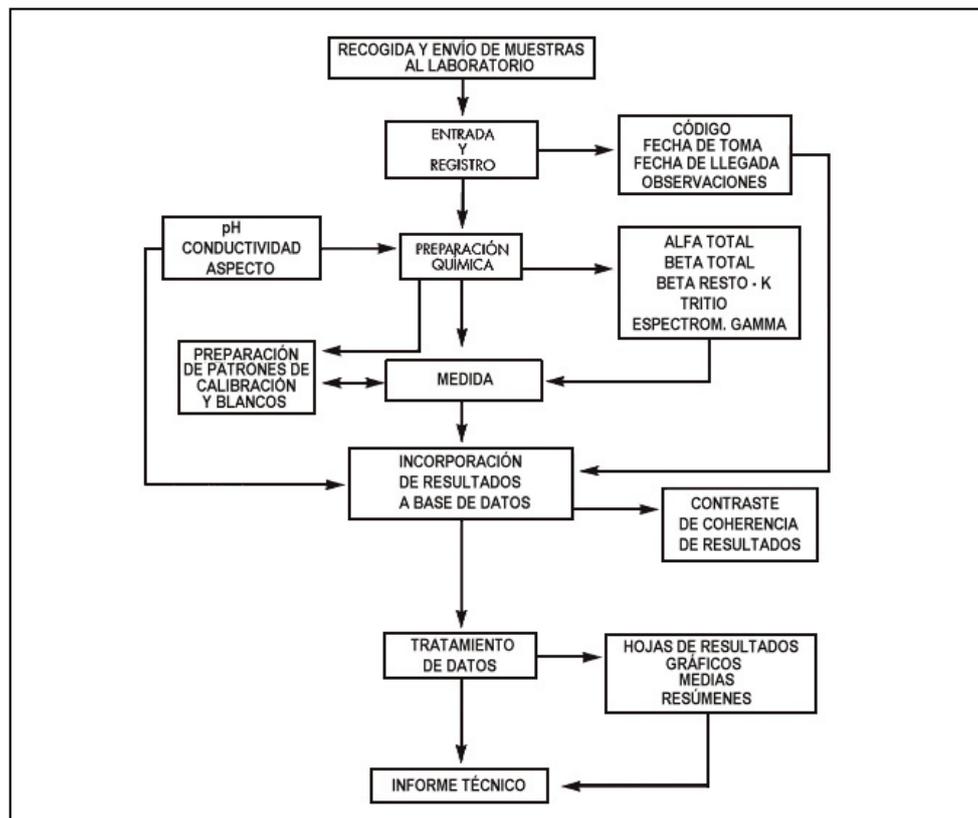


Figura 19. Organigrama de seguimiento de las muestras.



Figura 20. Pantalla principal del programa de Meragua.

Conceptualmente la aplicación se divide en tres partes (figura 20):

- Gestión de muestras y preparación química (apartado 4.1).
- Medida, cálculos y validaciones (apartado 4.2).
- Explotación de la base de datos: menú consultas (apartado 4.3) e informes (apartado 4.4).

4.1. Gestión de muestras y preparación química

Los Menús de Gestión de muestras y Química incluyen los procesos de recepción, identificación y control de las muestras, seguimiento de los distintos procesos de preparación química y su almacenamiento en la base de datos. Con este módulo se controla de trazabilidad de las muestras durante todo el proceso de análisis y posterior entrega de resultados.

4.1.1. Menú Gestión de muestras

En el Menú Gestión se realizan las siguientes funciones:

- *Gestión de puntos de muestreos*: permite crear o eliminar un punto de muestreo. En cada punto de

muestreo se especifican los datos administrativos, zona de procedencia, frecuencia de muestreo, observaciones, etc.

- *Alta y edición de muestras* (figura 21): este proceso consiste en asignar un número correlativo, código del punto de muestreo, lugar de toma, fecha inicial de toma, fecha de llegada y ensayos a realizar. Esto es necesario para el control de la muestra durante todo el proceso de análisis y posterior salida de resultados.
- *Libro de muestras*: se pueden consultar todas las muestras que han sido dadas de alta hasta la fecha con sus datos. Además, se puede realizar la impresión de etiquetas, una vez se han dado de alta las muestras (figura 22).

4.1.2. Menú Química

En el Menú de preparación Química se realizan las siguientes funciones:

- *Hojas de seguimiento*: este menú se utiliza para generar la orden de trabajo de preparación química del ensayo a realizar de la muestra. En esta hoja se anotan los valores de los parámetros químicos y los

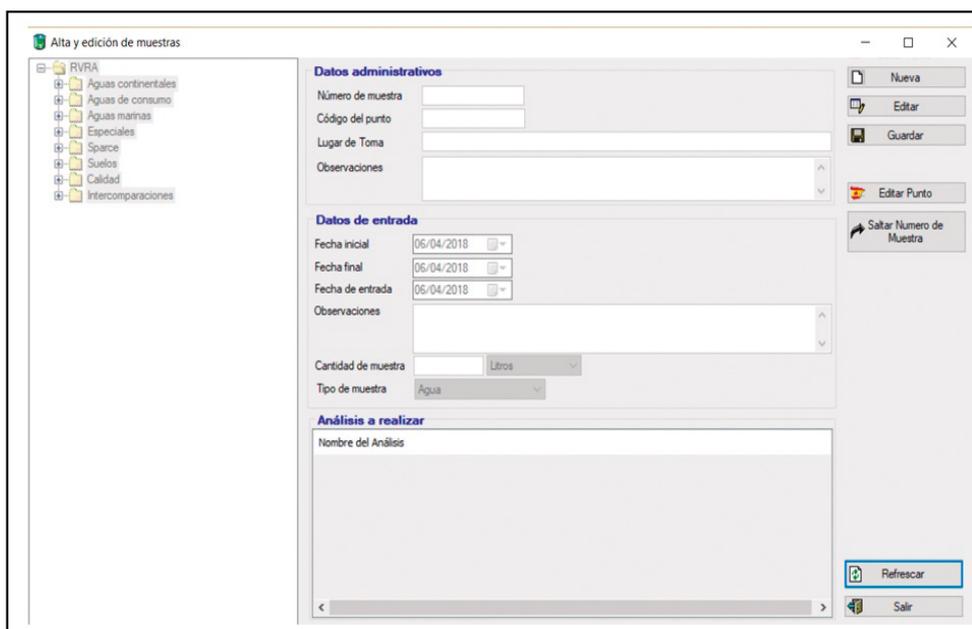


Figura 21. Pantalla de Alta y Edición de muestras del Menú Gestión.

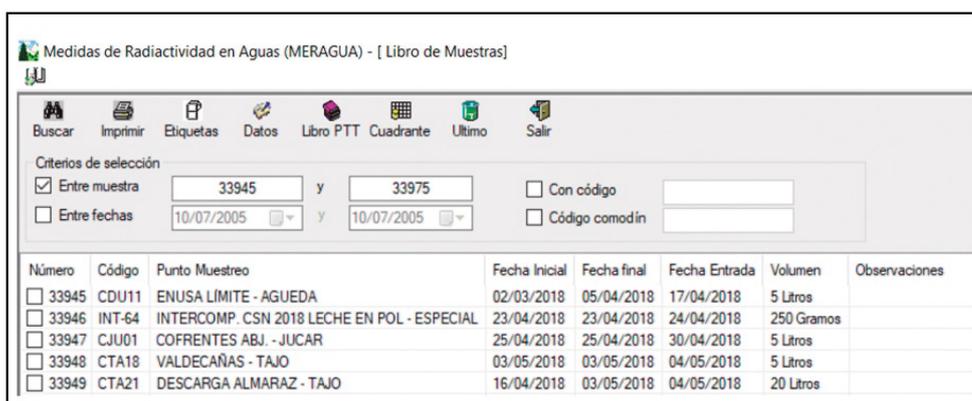


Figura 22. Pantalla de Libro de Muestras del Menú Gestión.

 CEDEX Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas Área de Aplicaciones Isotópicas		FORMATO HOJA DE SEGUIMIENTO ALFA		Cod: F-ITE-100501 Rev: 01 Fecha: Febrero 2014 Página: 1 de 1	
DATOS ADMINISTRATIVOS					
Nº de Muestra	33.682	Fecha de entrada	24/01/2018		
Código	EGU66	Fecha de toma inicial	09/11/2017		
Lugar de toma	VILLARDE CANAS ABAJO - ZÁNCARA	Fecha de toma final	09/11/2017		
		Volumen recibido (l)	5		
PARÁMETROS QUÍMICOS					
Aspecto	<input type="text"/>				
pH de la muestra	<input type="text"/>				
Conductividad	<input type="text"/> $\mu\text{S}/\text{cm}$				
DATOS DE PREPARACIÓN					
Muestra número	Preparación número	Volumen (ml)	Peso de la plancheta (g)	Peso de la plancheta + residuo (g)	Peso del residuo (mg)
33.682	1				
Identificación de la balanza Balanza EM-0022 <input type="checkbox"/> Balanza EM <input type="checkbox"/>			Identificación del conductivímetro Conductivímetro EM-0003 <input type="checkbox"/> Conductivímetro EM-0009 <input type="checkbox"/>		
Técnico de Laboratorio:					
Total Page No.: 1			Zoom Factor: 75%		

Figura 23. Formato del documento generado de la Hoja de seguimiento de una muestra.

datos de preparación (figura 23), que posteriormente serán almacenados en el programa utilizando el menú “*Datos químicos*”.

- *Datos químicos*: tras realizar la preparación de cada muestra se introducen los datos químicos obtenidos en esta pantalla (pH, conductividad, aspecto, volumen de la muestra, etc.). Para los ensayos de alfa y beta, se introduce el peso de la plancheta sin y con residuo para calcular el peso del residuo final (figura 24) que se utiliza para el cálculo del factor de autoabsorción (Suarez-Navarro y otros, 2002).
- *Crear, editar e imprimir tandas*: en este menú se genera la orden de trabajo de la medida. La tanda es

creada en función del número de detectores (tabla 3) que tiene un sistema de medida, de tal forma que si el equipo tiene una incidencia es fácil conocer qué muestras fueron medidas en ese momento para poder rechazar dichos datos y volver a repetir la medida de dichas muestras en caso necesario (figura 25).

Tabla 3. Números de muestras en las tandas para cada análisis

Análisis	Nº de muestras por tanda
Alfa	8
Beta	10
Tritio	12-24-36

Datos de preparación beta

Guardar Deshacer Salir

Número	Código	Lugar de toma	Total
<input type="checkbox"/>	33663	ATA41 EMB. CASTREJÓN - TAJO	1
<input checked="" type="checkbox"/>	33664	ATA42 EMB. GABRIEL - ALAGON	1
<input type="checkbox"/>	33665	ATA43 LA BAZAGONA - TIETAR	1
<input type="checkbox"/>	33666	ATA44 TOLEDO - TAJO	1
<input type="checkbox"/>	33667	CTA45 TRILLO ABAJO 1,5 KM. - TAJO	2
<input type="checkbox"/>	33668	CDU08 ENUSA ARRIBA - AGUEDA	2
<input type="checkbox"/>	33669	CDU09 ENUSA ABAJO - AGUEDA	2
<input type="checkbox"/>	33670	CDU11 ENUSA LÍMITE - AGUEDA	2
<input type="checkbox"/>	33671	ADU01 GARRAY - DUERO	1
<input type="checkbox"/>	33672	ADU03 QUINTANILLA - DUERO	1
<input type="checkbox"/>	33673	ADU04 VILLALCAMPO - DUERO	1

Datos administrativos de la muestra

Número: 33664 Código: ATA42 Lugar de toma: EMB. GABRIEL - ALAGON Preparaciones: 1

Datos químicos de la muestra

pH: Conductividad (µS/cm): Aspecto: Aguas claras

Preparación 1

Peso plancheta (g): Peso Plancheta + Residuo (g): Peso residuo (mg): Volumen (ml): 200

Fecha de comienzo: 13/04/2018 Hora de comienzo: 13:40

Fecha de terminación: 13/04/2018 Hora de terminación: 13:40

Observaciones:

Figura 24. Pantalla de trabajo para introducir los datos obtenidos durante la preparación de una muestra..

CEDEX
Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

CREACIÓN DE TANDA ALFA

LABORATORIO DE APLICACIONES ISOTÓPICAS

Número de tanda	Fecha de la tanda	Equipo de medida
2552	16/04/2018	Contador ALFA 2 (EM-0011)

Número de muestra	Código de la muestra	Preparación número	Medida número	Volumen (ml)	Peso (mg)	Detector número
33607	ECT07	1	1	10	6,68	
33609	CDU11	1	1	10	0,95	
33609	CDU11	2	1	10	0,94	
33610	CJU01	1	1	10	10,84	
33610	CJU01	2	1	10	11,27	
33612	CEB04	1	1	10	17,42	
33612	CEB04	2	1	10	18,05	

Figura 25. Formato de orden de trabajo de la medida generado para una tanda alfa.

4.2. Medida, cálculos y validaciones

Esta parte se lleva a cabo con el menú de Análisis, donde se realizan, principalmente, las siguientes funciones:

- *Asignación de detectores de los distintos sistemas de medida:* las muestras que se miden se asocian a cada uno de los detectores (alfa, beta o tritio).

- *Cálculos de los diferentes análisis:* los datos de la medida están en ficheros de datos que generan los distintos equipos de medida. Estos ficheros se leen con la aplicación Meragua y con las ecuaciones correspondientes incorporadas en el código de la aplicación se calcula la actividad de los diferentes ensayos (alfa, beta, beta resto o tritio).

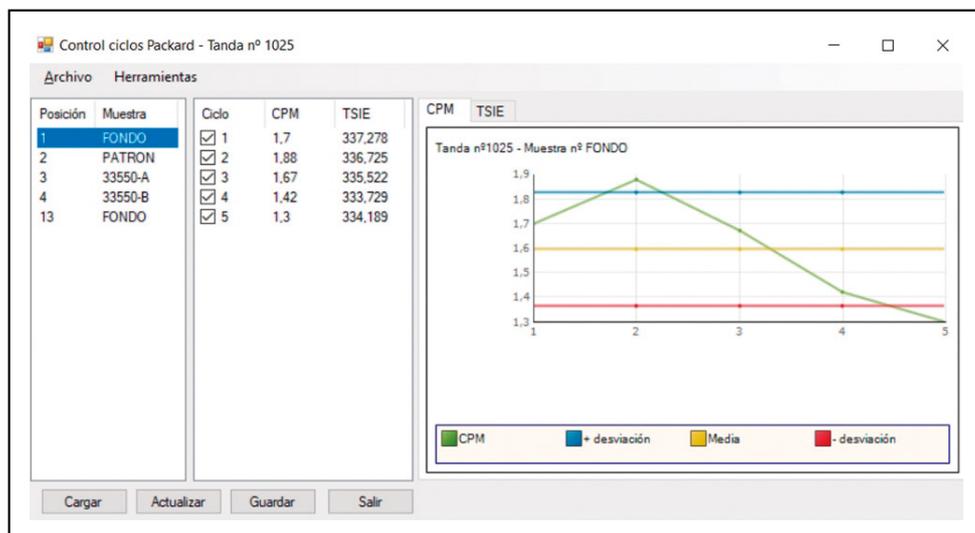


Figura 26. Pantalla de trabajo para el control de ciclos de tritio.

- **Validación de la medida:** el responsable técnico de la medida comprueba que los datos obtenidos son correctos. Por ejemplo, en la medida de tritio existe un módulo previo de control de ciclos (figura 26).
- **Validación histórica:** el responsable de proyecto comprueba que los datos obtenidos son acordes a los datos históricos del punto de muestro, en el caso de que existan.
- **Validación global:** el director técnico del laboratorio verifica que los ensayos realizados para una determinada muestra son técnicamente válidos. Una vez realizada la validación global ya se puede generar el Informe de Ensayo con la marca ENAC en aquellos ensayos que están dentro del alcance de acreditación (ver apartado 4.4.3).

En la pantalla principal se encuentra el menú “Datos análisis” (figura 27) donde se almacenan los datos necesarios para el cálculo de las actividades de los diferentes ensayos y para asegurar la trazabilidad de las medidas (patrones, fondos, eficiencias de todos los detectores, coeficientes de autoabsorción alfa y parámetros para el cálculo beta y beta resto).

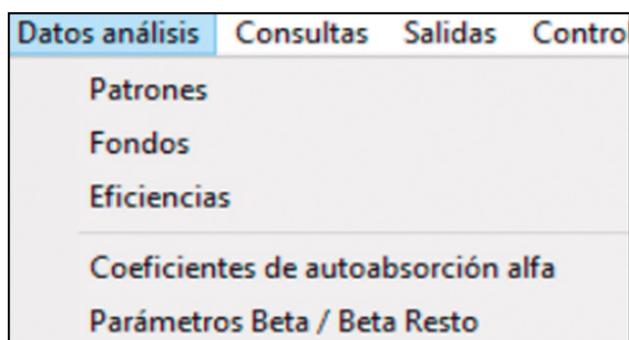


Figura 27. Menú “Datos análisis” necesario para el cálculo de las actividades.

4.3. Explotación de la base de datos: menú consultas

El Menú “Consultas” dispone de distintas opciones de búsqueda con el fin de que el usuario consulte tanto los datos administrativos de las muestras como las actividades

medidas. Las consultas se pueden realizar por tanda, muestra, análisis, fechas, etc.

Las distintas consultas desde la base de datos son:

- Ver resultados de muestras.
- Ver resultados de tandas.
- Comprobar muestras.

4.3.1 Ver resultados de muestras

Esta opción permite la consulta de los diferentes análisis realizados a las muestras. Los datos que se proporcionan de cada muestra y para cada análisis son: tanda a la que pertenece, equipo de medida, volumen, fecha de medida y resultados de actividad.

4.3.2. Ver resultados de tandas

Esta opción permite ver el estado (cálculo, validación medida, validación histórica o validación global) en el que se encuentra una tanda (alfa, beta y tritio) y ver los resultados obtenidos de todas las muestras que forman la tanda (figura 28).

4.3.3. Comprobar muestras

Esta opción tiene como función consultar de manera más rápida que análisis se han realizado y análisis faltan en una muestra determinada (figura 29).

4.4. Explotación de la base de datos: menú informes

La gestión informatizada de la información que se obtiene con la aplicación Meragua tiene como resultado final la generación de Informes para los clientes que envían las muestras que se analizan en el laboratorio o el organismo regulador (CSN). Tras realizar todas las analíticas, el responsable del proyecto se encarga de redactar un informe con los resultados obtenidos.

El Menú “Salidas” de la aplicación Meragua permite la generación de distintos documentos respondiendo a formatos que cumplen los requisitos de los informes que se emiten o a las necesidades de determinados clientes para

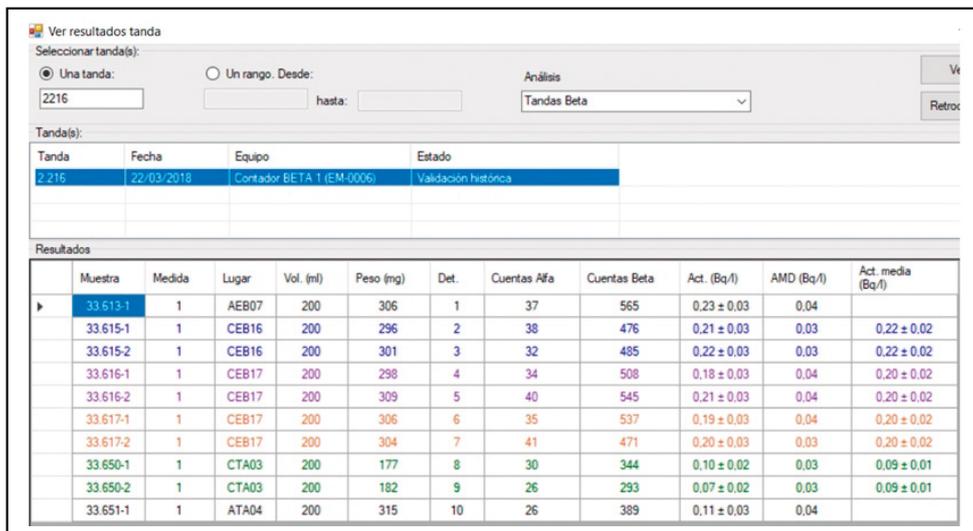


Figura 28. Pantalla de trabajo para consultar los resultados de una tanda y su estado.

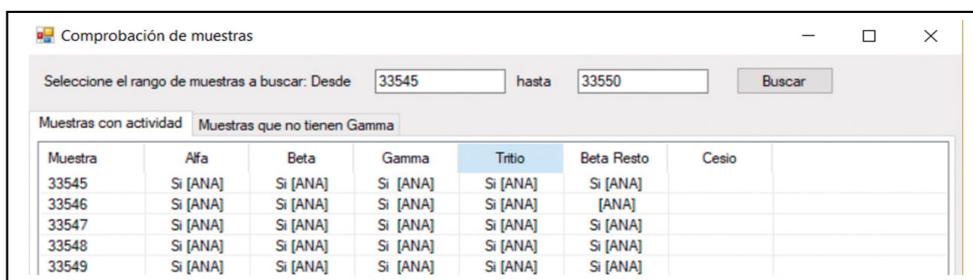


Figura 29. Pantalla de trabajo para consultar de manera rápida los análisis realizados en una muestra.

transferir los resultados a sus respectivas bases de datos (por ejemplo, Keeper del CSN). Estas diferentes salidas pueden presentarse tanto en formato Word/PDF como en fichero de texto. La información que puede generar el usuario es la siguiente:

- Tratamiento estadístico de los resultados.
- Resumen de resultados.
- Informes de ensayos de ENAC.
- Gráficas de series históricas y/o anuales (si procede).

- Resultados en fichero de texto formato Keeper para el CSN.

4.4.1. Tratamiento estadístico

Las muestras analizadas se pueden presentar en diferentes tablas que son incluidas en los informes que se envían al cliente: listado de muestras analizadas (figura 30), cálculo de medias de parámetros históricos y/o anuales (figura 31). Además, de los datos de los puntos de muestreo (coordenadas, longitud y latitud) (figura 32).

CÓDIGO	LUGAR DE TOMA	FRECUENCIA	MUESTRAS ANALIZADAS
ADU01	GARRAY - DUERO	Trimestral	4
ADU03	QUINTANILLA - DUERO	Trimestral	4
ADU04	VILLALCAMPO - DUERO	Trimestral	4
ADU05	ALAR DEL REY - PISUERGA	Trimestral	4
ADU06	VALLADOLID - PISUERGA	Trimestral	4
ADU07	EL MARÍN - TORMES	Trimestral	4
CDU12	JUZBADO ABAJO - TORMES	Mensual	12
ADU14	LEDESMA - TORMES	Trimestral	4
CDU08	ENUSA ARRIBA - AGUEDA	Trimestral	4
CDU10	ENUSA DESCARGA - AGUEDA	Mensual	10
CDU09	ENUSA ABAJO - AGUEDA	Mensual	12
CDU11	ENUSA LÍMITE - AGUEDA	Mensual	13
ADU13	VEGA DE TERRÓN - AGUEDA	Mensual	11
TOTAL:			90

Figura 30. Muestras analizadas en los distintos puntos de muestreo de una Cuenca Hidrográfica en el año 2017.

PARÁMETROS HISTÓRICOS Y ANUALES DEL PUNTO DE MUESTREO				
Tipos de análisis	01-03-06 a 31-12-17		01-01-17 a 31-12-17	
	Bq/Litro	Muestras analizadas	Bq/Litro	Muestras analizadas
Índice de actividad Alfa total				
Valor máximo	0,15	90	0,06	4
Valor medio	0,06		0,04	
Índice de actividad Beta total				
Valor máximo	0,30	90	0,18	4
Valor medio	0,15		0,16	
Índice de actividad Beta resto				
Valor máximo	0,13	90	0,04	4
Valor medio	0,04		0,02	
Concentración de Tritio				
Valor máximo	4,83	90	0,35	4
Valor medio	1,12		0,09	

Figura 31. Cálculo de medias de los parámetros históricos y/o anuales de un punto de muestreo.

RELACIÓN DE PUNTOS DE MUESTREO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL DUERO, DURANTE EL PERIODO 01/01/2017 - 31/12/2017				
LOCALIZACIÓN			COORDENADAS	
CÓDIGO	LUGAR DE TOMA	ESTACIÓN	LONGITUD	LATITUD
ADU06		EA-097	4º43'55"W	41º38'57"N

Figura 32. Datos de localización de un punto de muestreo de la C.H. del Duero.

4.4.2. Resumen de resultados

Esta función genera una tabla con los resultados obtenidos en los diferentes análisis realizados a cada muestra de todas las muestras de una confederación y año específico (figura 33).

4.4.3. Informe de Ensayo de ENAC

Los Informes de Ensayo de ENAC tienen como función generar un impreso con toda la información y los resultados obtenidos de cada una de las muestras analizadas de un punto de muestreo concreto, en el periodo de tiempo

seleccionado (figura 34). El documento generado tendrá un formato determinado para cada uno de los clientes.

4.4.4. Gráficos de series históricas y/o anuales

Los gráficos de series históricas y/o anuales tienen como función generar representaciones de un punto de muestreo seleccionado en un periodo de tiempo. Se pueden generar dos tipos de gráficos:

- *Gráficos de serie histórica*, un gráfico para cada ensayo donde se representa la actividad de las muestras en Bq/l frente las fechas en años (figura 35).

RESUMEN DE RESULTADOS PROCEDENTES DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL DUERO DEL PERIODO 01/01/2017 - 31/12/2017															
DATOS DE LA MUESTRA				ACTIVIDAD EN BEQUERELIOS / LITRO, INCERTIDUMBRE (k=2)											
NÚMERO MUESTRA	CÓDIGO CEDEX	FECHA DE TOMA INICIAL	LUGAR DE TOMA	ÍNDICE ALFA TOTAL			ÍNDICE BETA TOTAL			ÍNDICE BETA RESTO			ACTIVIDAD DE TRITIO		
				Act.	Inc.	AMD	Act.	Inc.	AMD	Act.	Inc.	AMD	Act.	Inc.	AMD
33028	ADU06	02-02-17		0,06	0,04	0,04	0,15	0,03	0,03	<AMD		0,03	<AMD		2,9
33211	ADU06	17-04-17		0,04	0,02	0,03	0,17	0,03	0,04	<AMD		0,04	<AMD		3,3
33462	ADU06	10-07-17		<AMD		0,04	0,15	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	<AMD		3,5
33463	ADU06	04-10-17		<AMD		0,04	0,18	0,03	0,04	<AMD		0,04	<AMD		3,2

Figura 33. Ejemplo de resumen de Resultados de la C.H. del Duero generado con la aplicación Meragua.

 Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas	INFORME DE ENSAYOS	CENTRO DE ESTUDIOS DE TÉCNICAS APLICADAS AREA DE APLICACIONES ISOTÓPICAS C/Alfonso XII, 3 y 5 28014 (Madrid)
---	---------------------------	---


ENAC
 ENSAYOS

Código de la muestra: ADU06 / 33211

Solo están amparados por la acreditación los ensayos expresamente identificados como tales con la afirmación "SI".

DATOS DE LA MUESTRA:

Descripción muestra de agua	Aguas continentales	
Lugar de toma		
Estación de aforo	EA-097	
Fecha de toma inicial	17/04/2017	
Fecha de toma final	17/04/2017	
Fecha entrada laboratorio	22/06/2017	

ANÁLISIS QUÍMICO:

Conductividad	696 µS/cm	Potasio	4,4 ± 0,1 ppm
pH	7	Aspecto	Aguas débilmente coloreadas

RESULTADOS RADIOLÓGICOS:

Ensayos	Determinaciones		Resultados en Bq/L			Fechas de los ensayos	
	Amparado por la Acreditación de ENAC	Norma/Procedimiento de ensayo	Actividad	Incertidumbre (k=2)	AMD	Inicio	Fin
Índice alfa total	Sí	ITE-1005	0,04	0,02	0,03	18/09/2017	22/09/2017
Índice beta total	Sí	UNE 73311-4:2002	0,17	0,03	0,04	18/09/2017	20/09/2017
Índice beta resto	Sí	UNE 73340-2:2003	<AMD		0,04	18/09/2017	20/09/2017
Actividad de tritio	Sí	ITE-1003	<AMD		3,32	21/09/2017	26/09/2017
Espectrometría gamma						18/09/2017	18/09/2017
Ba-140					0,105		
Ce-144					0,238		
Co-58					0,021		
Co-60					0,018		
Cr-51					0,269		
Cs-134					0,025		
Cs-137					0,029		
Fe-59					0,031		
La-140					0,016		
Mn-54					0,021		
Nb-95					0,025		
Ru-103					0,031		
Zn-65					0,043		
Zr-95					0,042		

OBSERVACIONES:

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del Cedex. Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada. (AMD) Actividad Mínima Detectable del sistema de medida. La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente.

Este informe ha sido validado con fecha: 16/10/2017

Ha sido impreso en Madrid con fecha: 03/07/2018

Final del Informe de Ensayo de esta muestra.

Página 1 de 1 de este Informe de Ensayo.

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

Figura 34. Ejemplo de Informe de Ensayo de ENAC de una muestra de agua.

- *Gráficos de serie anual*, un gráfico para cada ensayo en la cual se representa la actividad de las muestras

en Bq/l frente las fechas en meses para un año determinado (figura 36).

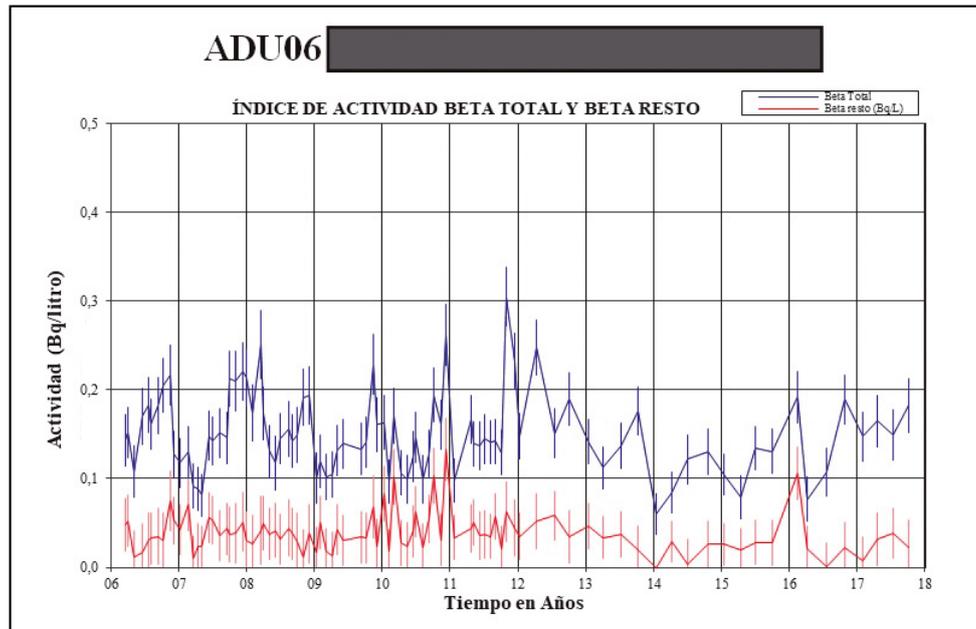


Figura 35. Gráfico de serie histórica: representación de la actividad beta (azul) y beta resto (rojo) desde 2006 a 2017.

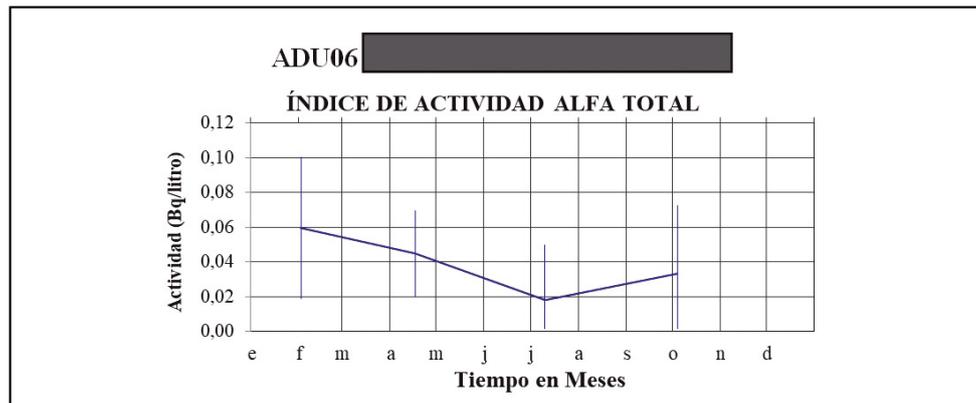


Figura 36. Gráfico de serie anual: representación de la actividad alfa total durante el año 2017.

4.4.5. Resultados en formato keeper para el CSN

El CSN establece en su acuerdo con el LAI, el envío por parte del CEDEX de los resultados obtenidos de todas las muestras analizadas, en un formato electrónico Keeper (figura 37) a través de una plataforma digital. Los datos enviados son incorporados en la base de datos del CSN y reenviados a la Unión Europea después de realizar las comprobaciones correspondientes. Estos resultados dan cumplimiento a los artículos 35 y 36 del Tratado Euratom.

5. CONCLUSIONES

El Laboratorio del Área de Aplicaciones Isotópicas (LAI) dispone de un sistema de gestión de información para las medidas de radiactividad de agua denominada MERAGUA.

El LAI está acreditado con la norma UNE EN-ISO/IEC 17025. El alcance de acreditación incluye los siguientes ensayos: índice de actividad alfa total, índice beta total, beta resto, actividad de tritio directo y actividad de tritio por concentración electrolítica. Fuera del alcance de acreditación se realiza la espectrometría gamma y la determinación de cesio-137.

El LAI realiza la vigilancia radiológica ambiental de las aguas continentales y marinas españolas dentro de la Red

de Estaciones de Muestreo (REM) del Consejo de Seguridad Nuclear (CSN).

El LAI dispone de diferentes detectores de radiación para la determinación de los diferentes parámetros radiológicos: detectores de centelleo sólido de ZnS(Ag), contador proporcional de flujo continuo de gas, detectores de centelleo líquido y detector de espectrometría gamma de germanio ultrapuro.

El sistema de gestión de la información del laboratorio (MERAGUA), como producto de la actividad del laboratorio genera la siguiente información de las muestras de aguas analizadas: Resumen de Resultados, Informes de ensayos en muestras acreditadas y no acreditadas por ENAC, Series de gráficos anuales e históricos y Resultados de todas las medidas en formato electrónico Keeper.

Los resultados en formato electrónico Keeper son enviados al CSN mediante una plataforma digital para su remisión a la Unión Europea para el cumplimiento de los artículos 35 y 36 del Tratado Euratom.

6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado en el período 20/03/2018 y 07/06/2018 durante el convenio nº 28021549/571 suscrito

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda			
R	8DUE101SP	AT	24/02/16	24/02/16N14/04/16			3.806E+01 01
R	8DUE101SP	BT	24/02/16	24/02/16N11/04/16	1.224E+02	2.371E+01	2.816E+01 01
R	8DUE101SP	H H 3	24/02/16	24/02/16N18/04/16	3.532E+03	2.061E+03	3.158E+03 01
R	8DUE101SP	BR	24/02/16	24/02/16N11/04/16	5.833E+01	2.388E+01	2.816E+01 01
R	8DUE101SP	IGBa140	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.738E+02 01
R	8DUE101SP	IGCe144	24/02/16	24/02/16N12/04/16			8.983E+02 01
R	8DUE101SP	IGCo58	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.425E+02 01
R	8DUE101SP	IGCo60	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.522E+02 01
R	8DUE101SP	IGCr51	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.137E+03 01
R	8DUE101SP	IGCs134	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.330E+02 01
R	8DUE101SP	IGCs137	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.393E+02 01
R	8DUE101SP	IGFe59	24/02/16	24/02/16N12/04/16			3.190E+02 01
R	8DUE101SP	IGLa140	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.738E+02 01
R	8DUE101SP	IGMn54	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.467E+02 01
R	8DUE101SP	IGNb95	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.435E+02 01
R	8DUE101SP	IGRu103	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.384E+02 01
R	8DUE101SP	IGZn65	24/02/16	24/02/16N12/04/16			3.653E+02 01
R	8DUE101SP	IGZr95	24/02/16	24/02/16N12/04/16			1.435E+02 01
R	8DUE101SP	AT	21/04/16	21/04/16N01/07/16			1.786E+01 01
R	8DUE101SP	BT	21/04/16	21/04/16N01/07/16	3.985E+01	2.151E+01	3.326E+01 01
R	8DUE101SP	H H 3	21/04/16	21/04/16N09/07/16			3.390E+03 01
R	8DUE101SP	BR	21/04/16	21/04/16N01/07/16			3.326E+01 01
R	8DUE101SP	IGBa140	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.600E+02 01
R	8DUE101SP	IGCe144	21/04/16	21/04/16N05/07/16			8.893E+02 01
R	8DUE101SP	IGCo58	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.527E+02 01
R	8DUE101SP	IGCo60	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.611E+02 01
R	8DUE101SP	IGCr51	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.134E+03 01
R	8DUE101SP	IGCs134	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.579E+02 01
R	8DUE101SP	IGCs137	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.463E+02 01
R	8DUE101SP	IGFe59	21/04/16	21/04/16N05/07/16			3.019E+02 01
R	8DUE101SP	IGLa140	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.600E+02 01
R	8DUE101SP	IGMn54	21/04/16	21/04/16N05/07/16			1.578E+02 01

Figura 37. Documento generado en formato electrónico Keeper para el CSN, con los resultados de las muestras de la C.H. del Duero.

con fecha 2 de febrero de 2011 entre el Centro Educativo IES PALOMERAS-VALLECAS y el CEDEX (CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS) que realizan la Formación de Centros de Trabajo (FCT) o Prácticas Formativas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), 2018. *Programas de Vigilancia Radiológica Ambiental. Resultados 2017*. Colección Informes Técnicos 50.2019. Consejo de Seguridad Nuclear, Madrid. (<https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04.40++Programas+de+vigilancia+radiol%C3%B3gica+ambiental.+Resultados+2017>).

Euratom (2010). Euratom Treaty. The Treaty establishing the European Atomic Energy Community (Euratom). Versión Consolidada Tratado Euratom, 2010. (https://europa.eu/european-union/sites/europaeu/files/docs/body/consolidated_version_of_the_treaty_establishing_the_european_atomic_energy_community_es.pdf).

Euratom (2000). Recomendación 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 (2000/473/Euratom) (<https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/8116b329-eb85-4bda-8d4b-e8c9e0d152c2/language-es>).

Payeras, J., Suarez-Navarro, J.A. y Pujol, LL. (2003). Sistema de gestión y control de los procesos de un laboratorio de medidas de baja actividad. 29ª Reunión de la Sociedad Nuclear Española, Zaragoza, 1-3 octubre 2003.

Pujol, LL., Sanchez-Cabeza, J.A. (1999). Optimisation of liquid scintillation counting conditions for rapid tritium determination in aqueous samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 242(2), 391-398.

Pujol, LL., Suarez-Navarro, J.A., y Montero, M. (2000). A method for the selection of the optimum counting conditions in a ZnS(Ag) scintillation detector. *Applied Radiation and Isotopes*, 52, 891-897.

Pujol, LL., Suarez-Navarro, J.A., Montero, M., Fé Díaz, Mª. (2001). Índice de actividad beta total: contador proporcional de flujo de gas (ISBN: 84-7790-360-3). Ministerio de Fomento, CEDEX, Madrid, 2001, p. 153.

Pujol, LL., Suarez-Navarro, J.A. (2002). Procedimientos radioquímicos: 2. Determinación del cesio-137 en aguas marinas y continentales (ISBN: 84-7790-379-4). Ministerio de Fomento, CEDEX, Madrid, 2002, p. 83.

Pujol, LL., Fé Díaz, Mª., Araguás-Araguás, L. (2004). Assessment of the low-level liquid scintillation tritium laboratory at CEDEX, Madrid. International Symposium on Quality Assurance for Analytical Methods in Isotope Hydrology, Vienna, Austria, 25-27 agosto 2004.

Pujol, LL., González de Orduña, R. (2008). Estudios para la mejora en la medida de espectrometría gamma en el laboratorio de radiactividad ambiental del CEDEX. Parte 1: caracterización del fondo radiactivo. *Ingeniería Civil*, 149, 95-107.

Ramos, L.M., Salas, R. (2005). "La Red de estaciones de muestreo de vigilancia radiológica ambiental del CSN". Seguridad Nuclear, número 37, IV trimestre, pp. 26-30 (<https://www.csn.es/documents/10182/13557/Seguridad+Nuclear+37>).

Suarez-Navarro, J.A., Pujol, LL., de Pablo, M. (2002). Rapid determination of gross alpha-activity in sea water by coprecipitation. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 253(1), 47-52.

Suarez-Navarro, J.A., Pujol, LL., de Pablo, A. (2002). Curvas de autoabsorción para la determinación del índice de actividad beta total. *Ingeniería Civil*, 125, 105-111.

Suarez-Navarro, J. A., Pujol, LL. (2004). Determination of potassium concentration in salt water for residual beta radioactivity measurements. *Radiation Measurements*, 38(2), 145-151.

UNE-EN ISO/IEC 17025:2017. *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. www.aenor.es.

UNSCEAR (2000). Sources and Effects of ionizing Radiation. New York: United Nations (https://www.unscear.org/unscear/en/publications/2000_1.html).