

Red de vigilancia radiológica ambiental de las aguas continentales españolas

MARIA FE DIAZ TEIJEIRO (*)
MARCIAL MONTERO RAMOS (*)
MARIA ANGELES DE PABLO SANMARTIN (*)
JUAN PAYERAS SOCIAS (*)
JESUS HERVAS CAMPILLO (**)

RESUMEN. La Red de Vigilancia Radiológica Ambiental (RVRA), consiste en un conjunto de 80 puntos de muestreo seleccionados en las ocho principales cuencas españolas en los que se analizan los parámetros indicativos de los niveles de radiactividad.

Las muestras se toman y envían por las Confederaciones Hidrográficas respectivas a los laboratorios del Programa de Aplicaciones Nucleares del CEDEX donde son analizadas.

En todas las muestras se determinan los índices de Actividad Alfa Total, Beta Tota, Beta Resto, Tritio y Espectrometría Gamma.

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

ENVIRONMENTAL RADIOLOGY MONITORING NETWORK IN SPANISH CONTINENTAL WATERS

ABSTRACT. *The Environmental Radiology Monitoring Network, consists in a set of 80 sampling points selected from the eight major Spanish rivers basins; an analysis is carried out of the parameters which indicate the radioactivity levels.*

The samples are collected and sent for analysis to the Nuclear Application Programme's laboratories of the CEDEX, by the respective Water Boards.

The values of Total Alpha, Total Beta, Residual Beta, Tritium and Gamma Spectrometry are determined for all the samples.

Every hydraulic year, the results are studied according to basins, and the corresponding technical report is issued.

INTRODUCCION

La Red de Vigilancia Radiológica Ambiental comenzó a gestarse en los años 1975 a 1976, como una consecuencia del desarrollo que iba adquiriendo en nuestro país la energía eléctrica de origen nuclear. Técnicos del entonces Gabinete de Aplicaciones Nucleares a las Obras Públicas en contacto con la Dirección General de Obras Hidráulicas, en especial con el Servicio de Planificación Hidrológica, llegaron a la conclusión de que era necesario llevar a cabo un seguimiento de las variables radioló-

gicas como un factor más de la calidad de las aguas. Tras un largo proceso técnico y administrativo se llegó al acuerdo de realizar dicha red y, para ello, se fijaron tres puntos esenciales:

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

La red 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.

Debe recordarse que desde 1986 está vigente, para España, el Tratado Constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica, que en su artículo 35 dice:

(*) Programa de Aplicaciones Nucleares del Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas del CEDEX (MOPT).

(**) AMATO, S. A.

«Cada Estado Miembro creará las instalaciones necesarias a fin de controlar, de modo permanente, el índice de radiactividad de la atmósfera, de las aguas y del suelo, así como la observancia de las normas básicas.»

RED DE TOMA DE MUESTRAS

En la figura 1 se sitúan los puntos de muestreo existentes en la actualidad.

La figura 2 sitúa la ampliación prevista de la red.

La Tabla 1 detalla los puntos de muestreo con indicación de código, lugar de toma, frecuencia y estación de aforo.

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

- Cubrir los entornos de posible incidencia de las instalaciones nucleares y radiactivas en explotación actual o futura.
- Conocer la situación radiológica en puntos no afectados por vertidos o usos humanos (por ejemplo, cabeceras de las cuencas).

— Conocer la situación radiológica y su evolución en puntos caracterizados por usos humanos importantes (abastecimientos, regadíos, zonas industriales, etcétera).

— Aprovechar la infraestructura existente en el Ministerio de Obras Públicas y Transportes, adaptando la red a la de calidad de aguas y aforos, lo que garantizaba el conocimiento de los parámetros fisicoquímicos que ya medía el propio Ministerio y facilitaba la recogida de muestras.

En este momento nos encontramos en un proceso de ampliación y mejora de la red con el fin de aumentar el muestreo de determinadas áreas y mejorar la representatividad de otras áreas.

LA TOMA DE MUESTRAS

Dado que se trata de muestras de aguas continentales superficiales, no se plantean problemas técnicos especiales en su recogida. Las muestras se toman con las precauciones habituales aguas no estancadas, botellas de un solo uso, etiquetado inmediato, etc. Los problemas suelen ser de carácter logístico debido a que se trata de muchos puntos de muestreo repartidos por toda la geo-

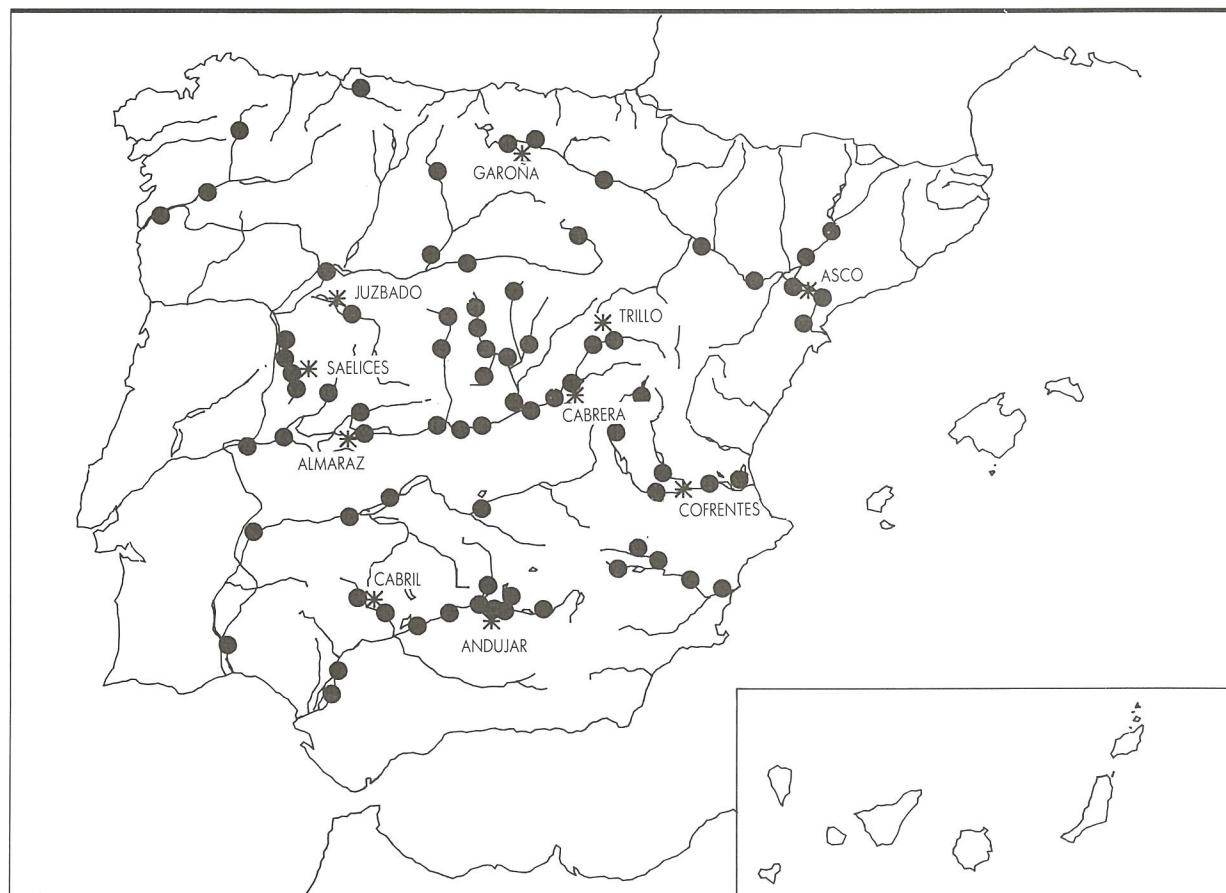


FIGURA 1. Red radiológica ambiental actual.

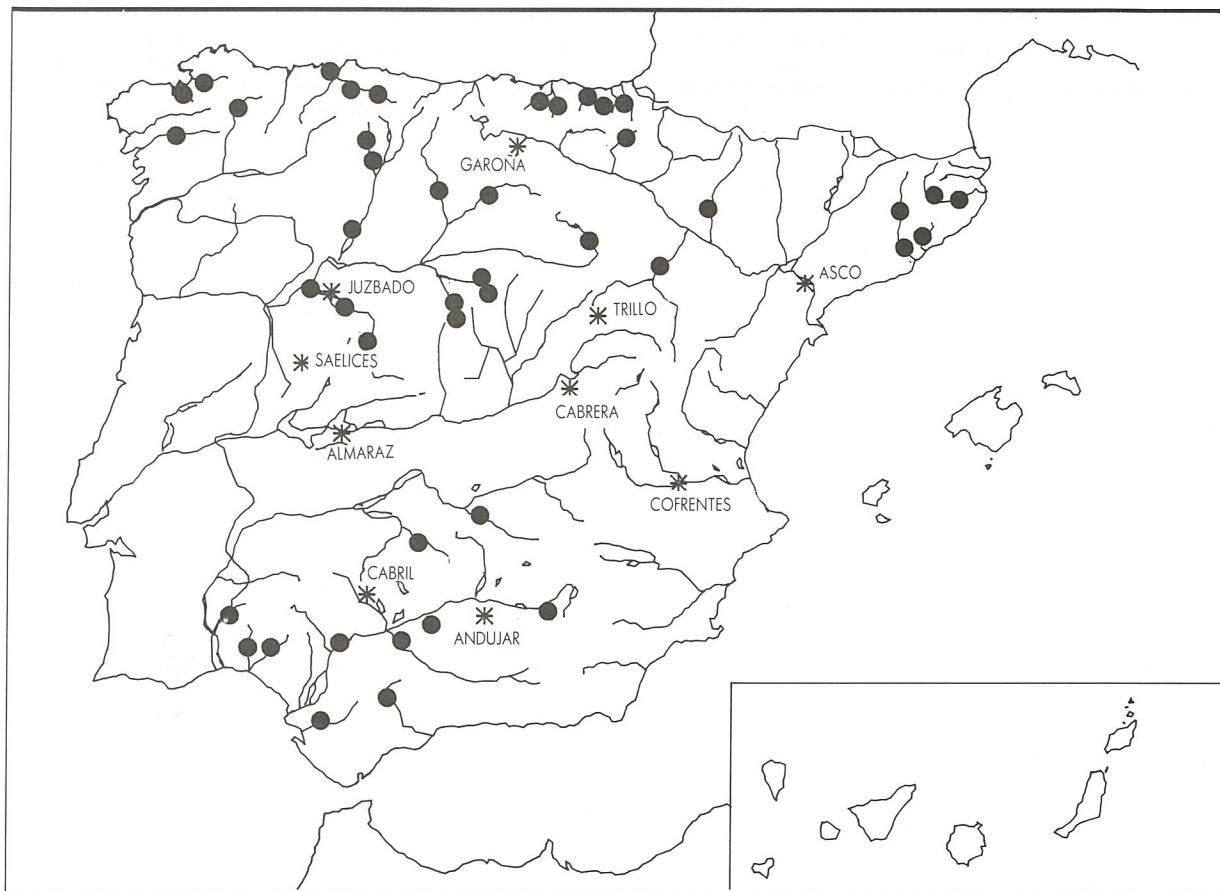


FIGURA 2. Red radiológica ambiental. Ampliación prevista.

CODIGO	DENOMINACION	ESTACION DE AFORO	FRECUENCIA
C. H. DEL NORTE DE ESPAÑA			
ANE05	RALBADE-MIÑO	EA-609-A	M
ANE01*	LUGO-MIÑO	EA-621	T
ANE02*	PUENTE MAYOR-MIÑO	EA-631	T
ANE03*	CADELAS DEL TUY-MIÑO	EA-643	T
ANE06	EL CONDADO-NALON	EA-335	M
ANE07	GRADO-CUBIA (INALON)	EA-346	M
ANE04*	S. CUCAO-NORA	EA-343	M
ANE08	DESEMBOLCADURA DEL NALON	S.E.A.	M
ANE09	E. ORDUNTE-CADAGUA	S.E.A.	M
ANE10	GALDACANO-NERVION	EA-158	M
ANE11	EMBALSE DEL EUME	S.E.A.	M
ANE12	CELA DE COMBRE-MERO	EA-471	M
ANE13	PUENTEAREAS (PADRONI)-ULLA	EA-549	M
ANE14	EREÑAZO (HERNANII)-URUMEA	EA-105	M
ANE15	ANDOAIN-ORIA	EA-80	M
ANE16	ARZOLA (ELGOIBARI)-DEVA	EA-103	M
C. H. DEL DUERO			
ADU01*	GARRAY-DUERO	EA-002	T
ADU13	EMBALSE RABANOS-DUERO	S.E.A.	M
ADU03*	QUINTANILLA-DUERO	EA-132	T

CODIGO	DENOMINACION	ESTACION DE AFORO	FRECUENCIA
ADU04*	PUENTE PINO-DUERO	EA-093	T
ADU05*	ALAR DEL REY-PISUERGA	EA-024	T
ADU06*	VALLADOLID-PISUERGA	EA-097	T
ADU14	SALAMANCA ANTES-TORMES	EA-084	M
ADU07*	SALAMANCA (EL MARIN)-TORMES	EA-121	T
CDU15	JUZBADO ANTES-TORMES	S.E.A.	
CDU16	JUZBADO DESPUES-TORMES	S.E.A.	
CDU08*	ENUSA ARRIBA-AGUEDA	EA-501	M
CDU09*	ENUDA ABAJO-AGUEDA	EA-502	M
ADU17	BURGOS VERTIDOS-ARLANZON	EA-109	M
ADU18	PALENCIA ARRIBA-CARRION	EA-042	M
ADU19	LEON ARRIBA-BERNESGA	EA-118	M
ADU20	LEON VERTIDOS-BERNESGA	EA-119	M
ADU21	EMBALSE RICOBAYO-ESLA	EA-095	M
ADU22	AVILA ARRIBA-ADAJA	S.E.A.	M

TABLA 1. Puntos de muestreo de la red radiológica ambiental de las aguas continentales españolas.

1. Las estaciones marcadas con un asterisco corresponden a la red actual. El resto son las estaciones previstas a corto plazo.
2. La estación de aforo corresponde a la estación bien de aforo, bien de análisis químico más próxima de la red del MOPT.
3. La frecuencia se indica por M = mensual, T = trimestral, Q = quincenal.

CODIGO	DENOMINACION	ESTACION DE AFORO	FRECUENCIA
ADU23	AVILA VERTIDOS-ADAJA	EA-046	M
ADU24	SEGOVIA ARRIBA-ERESMA	S.E.A.	M
ADU25	SEGOVIA VERTIDOS-ERESMA	EA-050	M
C. H. DEL TAJO			
CTA01*	TRILLO ARRIBA-TAJO	EA-005	M
CTA40*	TRILLO ABAJO-TAJO	S.E.A.	M
CTA02*	ZORITA ARRIBA-TAJO	EA-007	M
CTA03*	ZORITA ABAJO-TAJO	EA-008	M
ATA04*	ARANJUEZ-TAJO	EA-011	M
ATA44*	TOLEDO-TAJO	EA-014	M
ATA41*	EMBALSE CASTREJON-TAJO	EA-151	M
ATA05*	TALAVERA-TAJO	EA-015	T
ATA07*	ALCANTARA-TAJO	EA-019	M
CTA18*	VALDECAÑAS-TAJO	EA-152	M
CTA19*	TORREJON-TAJO	EA-016	M
ATA23*	SANTILLANA-MANZANARES	EA-069	T
ATA08*	EL PARDO-MANZANARES	EA-187	M
ATA15*	SAN FERNIN-MANZANARES	S.E.A.	T
ATA09*	LA CHINA-MANZANARES	EA-176	T
ATA12*	VALDEPEÑAS SIERRA-JARAMA	EA-153	M
ATA24*	MEJORADA-JARAMA	EA-052	M
ATA10*	PUENTE LARGO-JARAMA	EA-175	M
ATA22*	VILLALBA-GUADARRAMA	EA-100	T
ATA13*	PICADAS-ALBERCHE	EA-113	M
ATA43*	LA BAZAGONA-TIETAR	EA-184	M
ATA42*	EMBALSE GABRIEL-ALAGON	EA-142	M
ATA45*	GETAFE-CULEBRO	EA-262	M
C. H. DEL GUADIANA			
AGU01*	BALBUENA-GUADIANA	EA-008	T
AGU02*	ORELLANA-GUADIANA	EA-013	T
AGU05*	VALDEABALLEROS-GUADALUPEJO	EA-213	T
AGU03*	BADAJOS-GUADIANA	EA-018	M
AGU04*	SAN LUCAR-GUADIANA	EA-040	M
AGU14	TRAMO MEDIO-ZUJAR	EA-104	T
AGU15	TRAMO MEDIO-JABALON	EA-103	T
AGU16	ABASTECIM. HUELVA-CHANZA	EA-176	T
AGU17	TRAMO MEDIO-TINTO	EA-309	M
AGU18	TRAMO MEDIO-ODIEL	EA-307	M
C. H. DEL GUADALQUIVIR			
AGR01*	PTE. LA CERRADA-GUADALQUIVIR	EA-002	T
AGR09*	MENGIBAR-GUADALQUIVIR	EA-062	T
CGR02*	ARRIBA ANDUJAR-GUADALQUIVIR	EA-063	T
CGR03*	ABAJO ANDUJAR-GUADALQUIVIR	EA-563	M
AGR10*	EL CARPIO-GUADALQUIVIR	EA-069	T
AGR07*	POSADAS-GUADALQUIVIR	EA-071	T
AGR08*	ALCALA-GUADALQUIVIR	EA-072	T
AGR04*	PTE. PATROCINIO	EA-074	T
AGR13	SEVILLA ABAJO-GUADALQUIVIR	EA-057	M
AGR11*	LINARES-GUADALQUIVIR	EA-101	T
AGR12*	ENCINAREJO-JANDULA	EA-106	T
AGR05*	EL CABRIL ARRIBA-BEMBEZAR	EA-149	T
AGR06*	HORNACHUELOS-BEMBEZAR	EA-117	M
AGR14	TRAMO MEDIO ALMEDINILLA	EA-016	M
AGR15	TRAMO FINAL GENIL	EA-121	M
AGR16	TRAMO FINAL GUADIANA MENOR	EA-023	M
AGR17	LA CARTUJA-GUALETE	EA-085	M

CODIGO	DENOMINACION	ESTACION DE AFORO	FRECUENCIA
C. H. DEL SUR DE ESPAÑA			
ASE01	EMB. CHORRO-GUADALHORCE	EA-049	M
ASE02	EMB. CONCEPCION-VERDES	EA-417	M
C. H. DEL SEGURA			
ASG01*	LAS GALLEGOS-SEGURA	EA-057	M
ASG02*	ARCHENA-SEGURA	EA-018	M
ASG03*	BENIEL-SEGURA	EA-064	M
ASG04*	CAMARILLASE-MUNDO	EA-024	M
ASG05*	TRANSVASE TAJO-SEGURA	EA-901	M
C. H. DEL JUCAR			
CJU01*	COFRENTES ARRIBA-JUCAR	EA-039	M
AJU02*	VENTA DE JUAN ROMERO-JUCAR	EA-126	M
AJU03*	E. ALARCON-JUCAR	EA-107	M
CJU04*	VILLATOYA-CABRIEL	EA-053	M
CJU05*	ALCALA DEL JUCAR-JUCAR	EA-144	M
AJU07*	CANAL JUCAR-TURIA		M
C. H. DEL EBRO			
CEB01*	PALAZUELOS-EBRO	EA-161	Q
CEB02*	GARONA ABAJO-EBRO	EA-220	Q
AEB05*	MENDAVIA-EBRO	EA-120	T
AEB06*	ZARAGOZA-EBRO	EA-011	M
AEB08*	SASTAGO-EBRO	EA-112	M
CEB04*	RIBARROJA-EBRO	EA-210	M
CEB16*	ASCO ABAJO 6 KM-EBRO	S.E.A.	Q
AEB21	ATECA-JALON	EA-126	M
AEB07*	CHERTA (DESEMBOC.)-EBRO	EA-212	M
AEB09*	BALAGUER-SEGRE	EA-096	M
AEB10*	SEROS-SEGRE	EA-025	M
AEB18	TRAMO MEDIO JALON	EA-009	M
AEB19	PAMPLONA SALIDA-ARGA	EA-069	M
AEB20	ZUERA SALIDA-GALLEGO	EA-209	M
C. H. DEL PIRINEO ORIENTAL			
APO01	S. JUAN DESPI-LLOBREGAT	EA-070	M
APO02	DESEMBOCADURA LLOBREGAT	EA-023	M
APO03	GERONA ARRIBA-TER	EA-019	M
APO04	SARRIA DEL TER	EA-054	M
APO05	REIXACH- BESOS	EA-043	M

TABLA 1. Puntos de muestreo de la red radiológica ambiental de las aguas continentales españolas.

1. Las estaciones marcadas con un asterisco corresponden a la red actual. El resto son las estaciones previstas a corto plazo.
2. La estación de aforo corresponde a la estación bien de aforo, bien de análisis químico más próxima de la red del MOPT.
3. La frecuencia se indica por M = mensual, T = trimestral, Q = quincenal.

grafía española y recogidos con gran frecuencia. Como se observa en el cuadro correspondiente, la frecuencia puede ser quincenal, mensual o trimestral y la recogida puede ser puntual o continua.

DESCRIPCION GENERAL DEL LABORATORIO DE LA RVRA

El laboratorio tiene dos partes claramente diferenciadas: la preparación de muestras y la medida.

Para la preparación química, el laboratorio está dotado del material convencional de química analítica. Además posee detectores portátiles para controlar el acceso de muestras que pudieran aumentar el fondo del laboratorio, equipo de espectrometría de absorción atómica, medidas de pH, conductividad, estufas, etc.

En la parte de medidas se dispone de sistemas de detección que, posteriormente, se describirán. A destacar en esta parte el control ambiental de temperaturas y humedad, alimentación estabilizada y contra cortes de tensión; tierras independizadas, filtros y apantallamiento con el fin de eliminar transitorios.

La figura 3 presenta un esquema funcional.

PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Una vez llegadas las muestras al laboratorio se registran en el libro de entradas una serie de datos tales

como fechas de toma, tipo de muestras, cantidad, lugar, etcétera.

En cada muestra se aprecia el aspecto y se miden pH, conductividad y potasio.

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

Medida de Potasio. Se realiza con un espectrofotómetro de absorción atómica. Como se sabe, el Potasio-40 es un radionucleido primordial, emisor beta-gamma, que está siempre presente en el potasio natural. Dado que la abundancia del K-40 es del 0,01178 % en el potasio natural, conocida la concentración de potasio es calculable

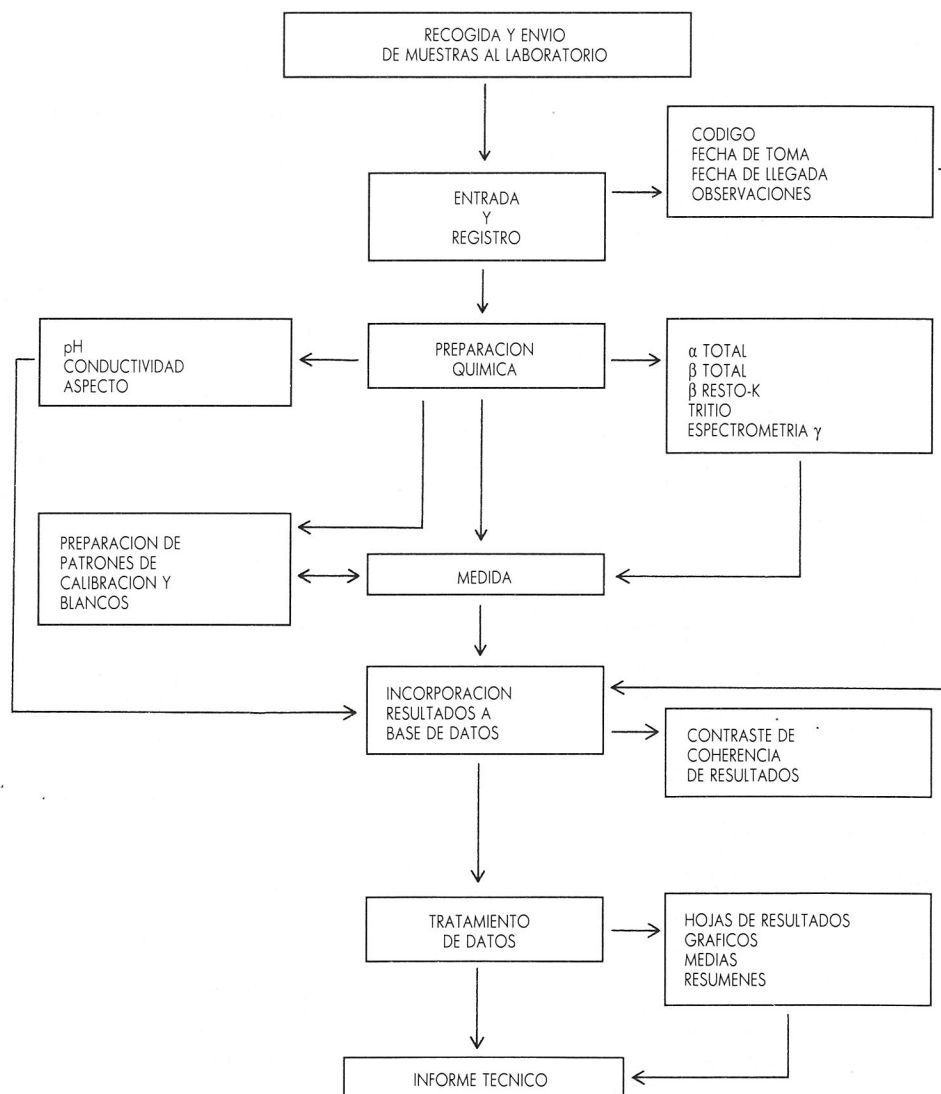


FIGURA 3. Esquema funcional de la red.

la actividad beta debida al K-40 (con las correcciones correspondientes a la energía de la emisión y autoabsorción). La diferencia entre la actividad beta total y la actividad beta correspondiente al K-40 es el llamado resto beta, indicador de la existencia de otros emisores beta y, por tanto, mejor indicador de posibles contaminaciones.

Índice de actividad alfa total. La preparación química de la muestra consiste en una concentración por evaporación a sequedad y deposición del residuo sobre plancheta de acero inoxidable. El depósito debe tener espesor másico inferior a 1 mgr/cm^2 .

Índice de actividad beta total. La preparación química consiste en una concentración por evaporación a sequedad y deposición del residuo en plancheta. El espesor másico del depósito debe ser inferior a 50 mg/cm^2 .

Espectrometría gamma. Para identificar y medir los isótopos emisores gamma, las muestras pueden prepararse con tres geometrías diferentes:

- a) Botella de polietileno de 1 l.
- b) Frasco Marinelli de 0,45 l.
- c) Caja de metacrilato.

En las dos primeras geometrías, el agua ligeramente acidulada con NO_3H se vierte, directamente, en los recipientes correspondientes. En el tercer caso, el agua se evapora lentamente a sequedad en un recipiente de aluminio cubierto con una lámina de poliéster saranizado de $12 \mu\text{m}$. Después, esta lámina se pliega adecuadamente y se coloca en la caja de metacrilato. El rendimiento del proceso de sequedad es superior al 98 % con una fluctuación inferior al 2 %.

Tritio. Dado que la actividad beta total se mide en muestras concentradas por evaporación, la contribución de los emisores beta volátiles no se contabiliza. El más interesante, desde el punto de vista de la calidad del agua, es el tritio.

La preparación de muestras problema, para la medida de tritio directo, es sencilla. Después de homogeneizar y filtrar la muestra, se toman 10 ml. y se vierten en un vial de polietileno. Se añaden 12 ml. de centelleador y se agita fuertemente manteniendo el vial en una zona oscura y refrigerada a 6°C durante tres horas.

En la actualidad se vienen desarrollando nuevos procedimientos para la preparación de las muestras persiguiendo los siguientes objetivos:

- Los nuevos métodos deben ser independientes de la matriz, es decir, deben ser válidos para aguas potables, residuales, de ríos y de mar.
- Deben tener un factor de concentración elevado que permita procesar grandes volúmenes de agua.
- Deben ir encaminados a la medida de radionucleidos que, por sus características, tanto físico-químicas como su importancia en la producción y liberación al medio, sean buenos indicadores de los posibles vertidos de radionucleidos al ambiente.

MEDIDA DE LAS MUESTRAS

En el laboratorio se efectúa la medida de los siguientes parámetros radiológicos:

- Medida de radionucleidos emisores gamma.
- Medida del índice de actividad alfa-total.
- Medida del índice de actividad beta-total.
- Medida de la concentración de tritio.

Medida de radionucleidos emisores gamma. El laboratorio cuenta con dos cadenas de medida formada cada una de ellas por:

a) Detectores de germanio ultrapuro reverse (REGe). Estos detectores presentan las siguientes características:

- Contacto P, ultra fino ($0,3 \mu\text{m}$) de boro implantado en la cara externa del detector.
- Ventana de Be ($0,5 \text{ mm}$).
- Protección del FET ante cortes de tensión.
- Eficacia relativa del 25 %.
- Resolución 2,07 Kev a 1.333 Kev.
- Relación Pico/Compton 48,4:1 a 1333 Kev.

Estos detectores, debido a la fina ventana de Be y a que el contacto exterior es muy fino, extienden el rango de medida de 5 a 2.000 Kev. Otra ventaja es la alta resistencia a daños por la radiación y un excelente tiempo de resolución.

b) Criostato para la refrigeración de 50 l de capacidad con una pérdida diaria típica de 0,5/0,6 litros/día.

c) Sistema de corte automático de tensión por bajo nivel de nitrógeno.

d) Amplificador para espectroscopía con restauración automática de la línea base, rechazo por apilamiento de pulsos, corrector de tiempo muerto, tiempo de muestreo seleccionable de 0,25 a $12 \mu\text{s}$ (típico $4 \mu\text{s}$), ruido $< 3,4 \mu\text{V}$, ganancia ajustable (gruesa y fina), ajuste del polo cero y salida para conector BNC estándar.

e) Multicanal con ADC para la clasificación y almacenamiento de pulsos con las siguientes funciones: Clasificación y almacenamiento en 4.096 canales, integral, área neta, suavizado, transferencia, búsqueda de picos, calibración en energías, sustracción de fondos, interface para PC's, etc.

f) Sistema de análisis de espectros formado por un ordenador personal y software de análisis «Spectran-AT». Este sistema permite la calibración en energías y eficiencia de los detectores, identificación cualitativa de los picos, resolución de multipletes, determinación cuantitativa de radionucleidos, etc.

Calibración. Para la calibración de los detectores se usan patrones secundarios específicos (con certificado) para las geometrías de medida realizados a partir de un patrón primario (QCY.44) de Amersham con las siguientes características.

- Máximo error 3 %.
- Impurezas: 0,18 Bq/gr de Ce-141 y 0,1 Bq/gr de Co-56.

— Isótopos: Cd-109, Co-57, Ce-139, Hg-203, Sn-113, Sr-85, Cs-137, Y-88, Co-60, Am-241.

Estos isótopos cubren el rango de energías de 59 a 2.000 Kev. La calibración en energía se realiza rutinariamente cada mes y en eficiencias cada seis. No obstante, se efectúan ambas siempre que se considere necesario.

Semanalmente se realiza la medida (dos días) del espectro de fondo de los detectores. Este espectro se usa durante la semana para sustraerlo a las medidas de las muestras. Además permite el control del fondo de la sala.

Medida de las muestras. Se miden básicamente dos tipos de preparaciones, geometría Petri, muestras preparadas por evaporación y geometría Marinelli para muestras directas.

En cada medida, junto a las muestras se superpone una placa Petri conteniendo una pequeña cantidad de potasio natural. Esto nos permite vigilar en cada muestra que no se ha producido un desplazamiento de los picos.

La duración de la medida es de 7.200 segundos, siempre que no se detecte la presencia de algún emisor gamma, en cuyo caso se repite la medida durante 60.000 segundos.

Los isótopos vigilados son los principales emisores gamma, productos de fisión, activación y corrosión, así como los naturales.

Los resultados se expresan como el valor obtenido $\pm$ el error con un nivel de confianza de 95,5 %. En el caso de no detectar pico para un nucleido se da el límite de detección obtenido.

Medida del índice de actividad alfa total. Las medidas se realizan con los equipos y procedimientos que se describen a continuación:

1. Equipos de medida. El laboratorio cuenta con una cadena de ocho sistemas formada por:

a) Detectores: Los detectores son de centelleo sólido, el detector está formado por un disco de material plástico transparente que tiene en una de sus caras un depósito de SZn(Ag) sensible a la radiación alfa. Estos detectores son desechables.

b) Fotomultiplicadores: Los destellos producidos en el detector son convertidos por los fotomultiplicadores en impulsos eléctricos. Los fotomultiplicadores usados reúnen las siguientes características:

- Fotocátodo semitransparente bialcalino (Cs-K-Sb).
- Longitud de onda de máxima respuesta, 400 ± 50 nm.
- Forma de la ventana plano-circular.
- Diámetro de la ventana, 44 mm.
- Corriente en oscuridad, $5 \cdot 10^{-10}$ A.

c) Fuentes de alta tensión: Fuentes de tensión estabilizada y regulable entre 0 y 2.000 V.

d) Escala de medida: Los pulsos de los fotomultiplica-

dores son enviados a una escala para su conteo y visualización.

2. Calibración de los equipos. Para la calibración de los detectores se usan patrones secundarios específicos (con certificado) para cada geometría de medida de Am-241.

La calibración se realiza rutinariamente cada seis meses. No obstante, se efectúa la calibración siempre que se considere necesario.

3. Medida de las muestras. Las muestras vienen depositadas en planchetas especiales. El espesor másico ha sido controlado durante la preparación al objeto de optimizar la autoabsorción alfa.

La duración de la medida es de 12 horas. El fondo de estos equipos es muy bajo, del orden de 0,03 cpm y un rendimiento de detección del 46 %.

Los resultados se expresan como el valor obtenido $\pm$ el error con un nivel de confianza del 95,5 %.

Medida del índice de actividad beta total. Las medidas se realizan con los equipos y procedimientos que se describen a continuación:

1. Equipos de medida. El laboratorio cuenta con un contador proporcional de bajo fondo compuesto por diez detectores. Este equipo es capaz de medir radiación beta y radiación alfa.

a) Detectores: Los detectores son contadores proporcionales de bajo fondo, realizados en cobre electrolítico. El gas de medida es una mezcla de Argón Metano.

b) Blindaje pasivo: Todo el sistema está recubierto con ladrillos de plomo de 10 cm de espesor.

c) Blindaje activo: Los detectores de medida se encuentran debajo de un detector de guarda. Existe un circuito electrónico de anticoincidencias donde son enviadas las señales de los detectores y las del detector de guarda. Todo impulso que sea registrado por los dos detectores es anulado por entender que la radiación proviene del exterior y no de la muestra.

d) Sistema de control: Los detectores, y en general todo el proceso, están controlados por un procesador central. Este lleva incorporado tanto la alta tensión para los detectores, como la comunicación con los mismos. En este procesador también se realizan las funciones de:

- Tratamiento de los datos.
- Control de fondos.
- Visualización de resultados.
- Calibración de los detectores.

2. Calibración de los equipos. Para la calibración de los detectores se usan patrones secundarios específicos (con certificado). Para la calibración de la medida beta se usa como patrón Sr-90 en equilibrio con Y-90. Para la calibración alfa se usan patrones de Am-241.

La calibración se realiza rutinariamente cada seis meses. No obstante, se efectúa la calibración siempre que se considere necesario.

3. Medida de las muestras. Las muestras vienen depositadas en planchetas especiales. El espesor másico ha

sido controlado durante la preparación al objeto de optimizar la autoabsorción beta.

La duración de la medida es de 100 minutos. Se realizan dos medidas, una en el plateau alfa y otra en el beta, al objeto de poder descontar de la actividad beta la contribución de los emisores alfa. Con nuestro equipo se viene obteniendo un fondo típico de 0,6 cpm y un rendimiento del 42 %.

Los resultados se expresan como el valor obtenido $\pm$ el error con un nivel de confianza del 95,5 %.

Medida del índice de actividad beta-resto. Se entiende por índice de actividad beta-resto, a las emisiones beta detectadas en una muestra descontando las emisiones beta producidas por el K-40 existente en la muestra.

El cálculo del índice de actividad beta-resto en una muestra de emisores beta desconocidos sigue el siguiente proceso:

- Determinación de la actividad beta total: Se realiza por el procedimiento antes mencionado.
- Determinación del rendimiento de detección para el K-40: Se realiza por medida de una plancheta patrón, realizada a partir de una solución KCl de concentración conocida.
- Cálculo del coeficiente de autoabsorción: Para ello se miden varias planchetas patrón con espesores de depósito crecientes. La solución patrón de la que se parte, además del KCl contiene una mezcla de sales cuya composición puede ser tomada como composición media de los ríos españoles.
- Determinación de la concentración de potasio en la muestra: Se realiza midiendo por absorción atómica el K. La concentración de K se suele expresar en ppm de potasio.
- Determinación de las emisiones beta debidas al K-40: Se calcula partiendo de las ppm de K en la muestra y los datos antes mencionados por medio de la expresión:

$$IA_{\text{beta-k}} = IA_{\text{beta-tot}} - 0,0281 * [K\text{-natural}]_{\text{ppm}} * R_{\text{m-K40}}/R_{\text{m-Sr}}$$

Siendo:

$IA_{\text{beta-tot}}$ = Índice de actividad beta-total en Bq/l de la muestra.

$[K\text{-natural}]_{\text{ppm}}$ = Concentración en ppm de K-natural en la muestra.

$R_{\text{m-K40}}$ = Rendimiento de detección para las emisiones beta del K-40 en una muestra de espesor másico m.

$R_{\text{m-Sr}}$ = Rendimiento de detección de las emisiones beta del Sr-90/Y-90 para una muestra de espesor másico m.

Medida de la concentración de tritio. Las medidas se realizan con los equipos y procedimientos que a continuación se describen:

1. Equipos de medida. El laboratorio cuenta con dos contadores de centelleo líquido de ultra bajo fondo.

a) Detector: El detector es una sustancia líquida centelleadora que se mezcla íntimamente con la muestra.

b) Fotomultiplicadores: El sistema usa dos FMP enfrentados, bialcalinos de muy bajo fondo.

c) Blindaje pasivo: Todo el sistema está recubierto con plomo de 5 cm de espesor.

d) Blindaje activo: El sistema lleva un circuito de coincidencias anulándose todos aquellos pulsos que no sean registrados por los dos FMP a la vez, descartando de esta manera impulsos que no sean debidos a la radiación en la muestra.

e) Supresor de fondo: El equipo cuenta con un circuito especial (circuito de Burst) que realiza un análisis tridimensional del pulso, descartando aquellos pulsos cuyos «after-pulses» no correspondan a los de una verdadera emisión beta.

f) Corrector de electricidad estática: El sistema cuenta con un sistema de descarga de electricidad estática de los viales, evitando así contajes anómalos.

g) Sistema tipificador de la extinción: Mediante el uso de un patrón radiactivo de Ba-133, el sistema calcula el parámetro indicador de la extinción existente en la muestra.

h) Sistema de control: Los detectores, y en general todo el proceso, están controlados por un procesador central. En este procesador se realizan las funciones de:

- Normalización de los fotomultiplicadores.
- Verificación de parámetros.
- Acumulación del espectro.
- Optimización de ventanas.
- Control automático de la eficiencia.
- Cálculos.

2. Calibración de los equipos. Los equipos se calibran con disoluciones de patrones con certificado de calibración (solución de H-3). El proceso de calibración se realiza diariamente y los parámetros de calibración (tensión fotomultiplicadores, fondo, rendimiento y factor de mérito) son almacenados. El sistema alerta de cualquier desviación significativa.

3. Medida de las muestras. Las muestras se preparan en viales de 22 ml. La extinción de la muestra ha sido controlada durante la preparación con objeto de optimizar el rendimiento. La duración de la medida es de 100 minutos.

Con cada tanda de muestras se mide una muestra patrón y una muestra de fondo. Los parámetros habituales de medida son:

- Fondo: 3 cpm.
- Rendimiento: 61 %.
- Factor de mérito: 1.400
- Ventana: 0-18,6 Kev.

Los resultados se expresan como el valor obtenido $\pm$ el error con un nivel de confianza del 95,5 %.

ESTRUCTURA DE LA BASE DE DATOS

La cantidad de información de que se dispone, a la vista de todo lo que se ha expuesto, es excesivamente grande para su uso manual, lo que ha llevado a informatizarla.

Entre las medidas y la salida de los resultados, en lo que se refiere a la creación de la Base de Datos, se podrían distinguir tres procesos importantes:

- Medida de las muestras en los distintos aparatos específicos de cada determinación.
- Bases de Datos de conjunto, donde se almacenan no sólo los resultados obtenidos, sino también los parámetros de partida para obtenerlos.
- Base de datos con los resultados específicos de salida.

Entre cada uno de estos procesos, existen programas de transferencia de datos semiautomatizados.

La Base de Datos de conjunto está compuesta por los siguientes ficheros:

La base de datos de salida de resultados está compuesta por los siguientes ficheros:

MUESTRAS (datos administrativos de las muestras).

ACTIVIDADES (índice de actividad alfa total, beta total, resto beta y tritio con su error).

ESPECTROMETRIA GAMMA (LID de una serie de radionucleidos emisores gamma seleccionados).

ISOTOPOS (radios, estroncios e isótopos que en la espectrometría gamma den como resultado una actividad superior al LID).

QUIMICA (otros parámetros físico-químicos: pH, conductividad, potasio).

FICHEROS	N.º MUESTRAS ANALIZADAS	N.º CAMPOS	DATOS (*) ALMACENADOS	CONTENIDO
DA_MUEST	8.477	13	110.201	MUESTRAS
DA_ALFAS	7.790	16	124.640	ALFAS
DA_BETAS	8.247	16	131.952	BETAS
DA_TRIAS	5.887	19	111.853	TRITIO
DA_POTAS	5.928	16	94.848	POTASIO
DA_GAMMA	7.273	18	130.914	GAMMAS
DA_ESTAS	145	25	3.625	ESTRONCIOS
DA_RADAS	192	25	4.800	RADIOS
DA_ACTIV	8.258	16	132.128	ACTIVIDADES
	8.477		844.961	

* Hasta mayo de 1992.

En resumen, el contenido de estos ficheros es:

- Número de ficheros 9
- Número de muestras analizadas 8.477
- Número de datos almacenados 844.961

Estos ficheros están correlacionados entre sí mediante un campo común llamado NUM-MUE, que corresponde al número de entrada de la muestra. Debe ser correlativo y no puede duplicarse.

En función del tipo de análisis que se realice, los resultados obtenidos entran a formar parte de los distintos ficheros.

Existe la posibilidad del manejo de los ficheros de forma conjunta o cada uno por separado. Sin embargo, en el momento de la interpretación de los resultados de salida, el número de parámetros es muy grande y se presentan dificultades en su manejo. Por ello, resulta conveniente utilizar una base de datos paralela, donde figuran sólo los ficheros que contengan los datos administrativos de las muestras y los resultados de los análisis con su error de medida.

Esta Base de Datos es mucho más reducida y presenta la siguiente ventaja:

- Mayor rapidez en su manejo y mayor facilidad en la interpretación.
- Mayor rapidez para el tratamiento de los resultados con arreglo a diferentes criterios de búsqueda y con posibilidad de conexión con otros paquetes informáticos (gráficos, estadística, etc.).

Las medidas en la RVRA se realizan siempre en años hidráulicos completos como mínimo. Hay que tener presente que en estas medidas al ser muy próximas, casi iguales a los valores de fondo, para tener la fiabilidad requerida, es necesario disponer de una estadística lo suficientemente amplia para poder dar un dictamen adecuado de la situación radiológica de la cuenca y, por ello, es deseable un gran número de medidas realizadas a lo largo del mayor número de años posible.

Una vez obtenidas las series de resultados para una cuenca, a lo largo de un año hidráulico, es necesario, además de haber ido realizando un seguimiento de inci-

dencias y anomalías a lo largo del año, resolviendo en el momento de producirse las aclaraciones y comprobaciones pertinentes, tanto en lo que se refiere a problemas de toma de muestras, transporte, llegada, etc., como de coherencia en los análisis radiológicos, tratamiento estadístico, etc., realizar un estudio del conjunto de todos los datos obtenidos.

TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Una vez preparadas y medidas las muestras e incorporados los resultados a la Base de Datos, se plantea el tema de su utilización. El tratamiento que se de a los datos depende, evidentemente, del objetivo que se persigue. Nuestros laboratorios, salvo casos excepcionales, no suelen efectuar análisis individualizados, esto es, no suelen analizar muestras que no forman parte de un contexto hidrográfico. En los pocos casos en que ha ocurrido, simplemente se ha enviado al peticionario la hoja de resultados correspondiente advirtiéndole que, para medidas tan próximas al fondo natural, es esencial disponer de una serie estadística de valores, en el tiempo y en el espacio.

En general, las medidas se refieren a un período de tiempo más o menos largo, y corresponden a cursos de agua o regiones más o menos conectadas. En esas condiciones, los resultados son revisados muestra a muestra, buscando posibles anomalías que aparecerán de tres maneras distintas:

- A lo largo de una serie temporal de un mismo punto se pueden producir variaciones bruscas que es necesario explicar en función de vertidos, precipitaciones, sequías, etc.
- A lo largo de una corriente de agua las variaciones de concentración deben ser explicadas por la morfología del terreno, la presencia de usos humanos rutinarios (regadíos, depuración), etc.
- Para una única muestra, en un momento dado los resultados de las distintas actividades debe ser coherentes. A título de ejemplo no podemos tener una conductividad muy baja y sin embargo un K-40 muy alto.

Estamos en este momento en un período de formalización de estos criterios de valoración intentando aplicar el estudio de series temporales para posibles desestacionalizaciones de algunas variables, así como el análisis multivariante de componentes principales para el agrupamiento de los parámetros buscando formas significativas.

En la actualidad los informes anuales para las distintas instituciones para los que se trabaja estudian las anomalías y proponen bien métodos de corrección, bien amplían los análisis para determinar las causas.

BIBLIOGRAFIA

AWWA, APHA, WPCF (1985). «Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater». American Public Health Association. Washington.

- RODIER, J. (1978). «L'analyse de L'eau», Dunod. París.
- KOLTHOFF, I. M. (1984). «Análisis químico cuantitativo». Nigar. Buenos Aires.
- FRIEDLANDER, G., y KENNEDY, J. (1981). «Nuclear and Radiochemistry». John Wiley and Sons. New York.
- CHASE, G., y RABINOWITZ, J. (1967). «Principles of Radioisotope Methodology». Burges Publishing Company. Minneapolis.
- IAEA (1974). «Environmental surveillance around nuclear installations», Viena.
- GARCIA LEON, M., y MADURGA, G. (1988). «Low-Level measurements and their applications to environmental radioactivity». Nord Scientif. Singapore.
- PINTA, M. (1978). «Modern methods for trace elements analysis». Ann Arbor Science. Michigan.
- IAEA (1978). «Monitoring of Radioactive effluents from nuclear facilities». Viena.
- PRICE, W. J. (1978). «Analytical Atomic absorption spectrometry». Heyden. Londres.
- XIMENEZ HERRAIZ, L. (1980). «Espectroscopia de absorción atómica». Publicaciones Analíticas. Madrid.
- CATALAN LAFUENTE, J. (1981). «Química del agua». Alonso. Madrid.
- RENERTE NAVAREO, A. (1990). «Legislación de aguas». Tecnos. Madrid.
- DE PABLO, A., y ACEÑA, M. (1981). «Influencia de la autoabsorción alfa en la medida de la actividad alfa total en muestras de agua». JEN 805. Madrid.
- GONZALEZ, J. (1988). «Actividad beta total». CEDEX. Madrid.
- CEDEX (1991). «Media de radiactividad en muestras ambientales». Madrid.
- MAC KEY, C. (1971). «Principles of Radiochemistry». Butterworths. London.
- DEGREMONT (1979). «Manual técnico del agua». Suresnes.
- CEBEDEAU (1965). «Livre de l'eau». CEBEDOC. Liège.
- ESTRADA, P. (1986). «Manual de control analítico de la potabilidad de las aguas del consumo humano». Díaz de Santos. Madrid.
- EICHHOLZ, G. (1976). «Environmental aspects of nuclear power». Ann Arbor Science. Michigan.
- BRODSKY. (1978). «Handbook of Radiation measurement and protection». CRC. Press. Florida.
- NACIONES UNIDAS (1977). «Fuentes y efectos de la radiación ionizante». Viena.
- NBS. (1976). A. «Survey of current literature on sampling, sample handling and long term storage for environmental materials». Department of Commerce. National Technical Information Service USA.
- MOSER, J., y HUIBREGTSE, K. (1976). «Handbook for sampling and sample preservation of water and wastewater». Department of Commerce, National Technical Information Service. USA.
- DE PABLO, A., y GONZALEZ, J. (1989). «Análisis radioquímico de radio total, radio-226 y radio-224». CEDEX. C-20. Madrid.
- TREMILLION, B. (1965). «Les separations par les résines échangeuses d'ions». Gauthiers - Villars. París.
- PERKINS, R. (1980). «Transuranic Elements in the environment». Department of Energy. USA.
- ROBERTSON, D. E. (1981). «Transuranium and other long-lived radionuclides in the terrestrial environs of nuclear power plants». EPRI-EA-2045. Battelle Pacific Northwest Laboratories, Richland. Washington.
- COUGHTREY, P. J. (1984). «Radionuclide distribution transport in terrestrial and aquatic ecosystems». Vol. 4, A. A. Publishers.