

Evaluación de la actividad alfa total y beta total en aire, suelos y vegetación en situaciones de emergencia

Marina Sáez Muñoz, Josefina Ortiz, Sebastián Martorell, Margarita López, Luisa Ballesteros

Empresa: Laboratorio de Radiactividad Ambiental. Grupo de Medioambiente y Seguridad Industrial (MEDASEGI). Universitat Politècnica de València

Dirección: Camino de Vera s/n, 46022, Valencia, España

Teléfono: +34 963877098

E-mail: masaemuo@etsii.upv.es

Resumen – El Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universitat Politècnica de València (LRA-UPV) participa como laboratorio de apoyo en caso de emergencia dentro del Plan Especial ante el Riesgo Radiológico de la Comunitat Valenciana (PERR). Para ello, se han implementado procedimientos de determinación de la actividad alfa total y beta total en muestras de aire, suelos y vegetación como métodos de screening o cribado en caso de accidente nuclear o radiológico. También se han establecido protocolos de actuación para identificar de forma rápida las muestras más activas, así como el tipo de emisor/es (alfa o beta) por los que se ha producido la emergencia.

1. INTRODUCCIÓN

El Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la Universitat Politècnica de València (LRA-UPV) lleva a cabo la determinación de los índices alfa total y beta total en diferentes matrices ambientales dentro de la Red de Estaciones de Muestreo (REM) del CSN y del control de calidad del PVRA de C.N. Cofrentes. Sin embargo, estos índices también se utilizan como método de screening o cribado en caso de accidente nuclear o radiológico, como paso previo a la identificación y cuantificación de radionucleidos específicos, que suelen ser procedimientos más largos y costosos.

En este sentido, el LRA-UPV está colaborando con la Agencia Valenciana de Seguridad y Respuesta a Emergencias (AVSRE) de la Generalitat Valenciana, como laboratorio de apoyo en el marco del Plan Especial ante el Riesgo Radiológico de la Comunitat Valenciana (PERR) (Decreto 114/2013). Por ello, durante la fase de implantación del presente plan está adaptando y poniendo a punto procedimientos adecuados a un Programa de Vigilancia Radiológica en Emergencia (PVRE).

En la actualidad, el LRA-UPV ha implementado diferentes metodologías de actuación en emergencias, siendo la que se presenta en el siguiente trabajo la evaluación de la actividad alfa total y beta total en aire, suelos y vegetación. De esta forma, se podrá identificar de forma rápida las muestras más activas, así como el tipo de emisor/es (alfa o beta) por los que se ha producido la emergencia.

El suelo y la vegetación presentan radionucleidos naturales en su composición, principalmente ^{40}K y los isótopos de las series del uranio (^{238}U , ^{234}U , etc.), del torio (^{232}Th , etc.) y del actinio (^{235}U , etc.). Además, dichos radionucleidos pueden ser resuspendidos y encontrarse en el aire, junto con la radiación cósmica y los radionucleidos cosmogénicos (^{14}C , ^7Be , ^3H , etc.). Por otro lado, también pueden estar presentes radionucleidos de origen artificial debido a accidentes nucleares o radiológicos, o posibles ataques terroristas con el empleo de “bombas sucias” o dispositivos nucleares improvisados.

Las guías de seguridad y respuesta en emergencias de la U. S. Environmental Protection Agency (EPA) proponen valores límite a tener en cuenta en caso de emergencias para muestras de

aire y suelo obtenidos a partir de diferentes niveles de dosis considerados en emergencias (EPA, 2012; EPA, 2009).

2. MATERIAL Y MÉTODOS

En caso de accidente, se propone llevar a cabo la toma de las muestras de aire en el lugar de la emergencia, empleando un captador atmosférico de bajo flujo con un filtro de celulosa durante 1 hora a un flujo de 50 L/min. De esta forma, el volumen recogido es de aproximadamente 3 m³. A continuación, el filtro se transporta al laboratorio y se mide de forma directa en el contador durante 1 hora (fraccionada en 3 x 20 minutos). En este caso, y a diferencia de las muestras ambientales rutinarias, la medida se realiza directamente tras la toma de la muestra o unas horas después, en función de la distancia entre el lugar de la emergencia y el laboratorio. Se ha contemplado un tiempo de tránsito entre 30 minutos y 3 horas, que sería el tiempo que se tardaría desde los puntos más alejados de la Comunitat Valenciana hasta la Universitat Politècnica de València. Sin embargo, la medida directa tiene el inconveniente de introducir también en el contaje la contribución de los hijos de vida corta del ²²²Rn, como son los emisores alfa ²¹⁸Po y ²¹⁴Po, y los emisores beta ²¹⁴Pb y ²¹⁴Bi, que no aparecen en la medida rutinaria de los filtros que se lleva a cabo en los laboratorios 4-5 días después de la toma de la muestra. Por tanto, esta contribución se ha de tener en cuenta a la hora de valorar la emergencia y depende en gran medida del tiempo de tránsito.

En la evaluación de suelos y vegetación, es necesario un tratamiento previo de la muestra. En el primer caso basado en un tamizado del suelo (0,5 mm), y en el caso de la vegetación, una calcinación rápida para reducir el volumen de la muestra a analizar. Para ello se optimizó la etapa de calcinación empleando diferentes muestras de vegetación fresca y seca, como césped, hojas de romero y acículas de pino. Los parámetros evaluados fueron la cantidad de muestra (fresca o seca, según como se reciba en el laboratorio) en cada crisol y las rampas y temperaturas de calcinación, teniendo en cuenta que la temperatura máxima en la mufla fue de 400 °C para evitar la volatilización del cesio.

Para llevar a cabo la medida rápida de la actividad alfa total y beta total en aerosoles, suelos y vegetación se ha seleccionado el contador proporcional de flujo continuo de gas, LB770-2 de Berthold, porque permite la medida simultánea de los emisores α y los emisores β en los distintos tipos de muestras ambientales depositadas en planchetas de acero inoxidable de 50 mm de diámetro (200 mg suelo, 75 mg ceniza vegetal). La medida tiene una duración de una hora.

3. RESULTADOS

3.1. Aire

En el protocolo de actuación para la detección de una emergencia radiológica en el aire se han tenido en cuenta los límites que proponen organizaciones internacionales como la US EPA (EPA, 2009). Utilizando los valores de dosis propuestos y los coeficientes de inhalación máximos para adultos recogidos en el (Real Decreto 783/2001) para ²⁴¹Am (Alfa) y ⁹⁰Sr (beta) se han calculado las actividades máximas a tener en cuenta en caso de emergencia. Además, se han obtenido las cpm/m³ brutas que mediría el equipo a partir de las eficiencias y fondos de los detectores. Los resultados se muestran en la Tabla 2.

Para las condiciones de toma de muestra (1 hora de toma y V = 3 m³) y las condiciones de medida establecidas (1 hora de medida) los límites de detección alcanzados son de 0,0110 Bq/m³ y 0,0285 Bq/m³, para α total y β total respectivamente. De esta forma, según la Tabla 2 podrían detectarse emergencias con dosis inferiores a 1 mSv, en caso de emergencia debido a emisores beta. Sin embargo, en estas condiciones tan solo podrían detectarse dosis superiores a 5 - 10 mSv en caso de emergencias alfa.

Tabla 2. Actividades y cpm brutas alfa y beta en aire según el nivel de dosis.

	ALFA			
Dosis (mSv)	1	5	10	20
A α (Bq/m ³)	0,0013	0,0065	0,0129	0,0258
cpm/m ³ brutas	0,06	0,14	0,25	0,46
	BETA			
Dosis (mSv)	1	5	10	20
A β (Bq/m ³)	0,77	3,87	7,75	15,50
cpm/m ³ brutas	20,3	98,4	196,0	391,2

Para la realización del estudio de la contribución de radón en el contaje alfa y beta, se tomaron 10 muestras de aerosoles en filtros de celulosa en días y horas diferentes dentro de la Universitat Politècnica de València. Dichos filtros se midieron teniendo en cuenta diferentes tiempos de tránsito, desde 30 min. a 5 h aproximadamente desde la toma de muestra hasta la medida. En la Tabla 3 se muestran los resultados obtenidos para los contajes alfa y beta (en cpm/m³) y la relación α/β . Se ha calculado el valor medio (junto con la SD), la RSD y el rango de valores obtenidos. Como se puede observar, los contajes alfa y beta son muy elevados, y podrían confundirse con una emergencia (Tabla 2). En concreto, en el caso del contaje beta las medidas son del orden de la emergencia, mientras que el contaje alfa es muy superior. Por otro lado, la desviación en los contajes para cada tránsito es grande (entre el 17 % y el 44 %), por lo que se cometería un error elevado si se sustrajera directamente su contribución media en la medida de emergencia. Sin embargo, la relación α/β se considera un mejor evaluador para distinguir una emergencia radiológica frente a la presencia normal de radón, ya que la desviación entre los valores es más pequeña, entre 4 % y 12 % en función del tiempo de tránsito.

Tabla 3. Resultados de los descendientes de Radón en la medida directa de filtros.

Tránsito	Parámetros	ALFA cpm/m ³	BETA cpm/m ³	Relación ALFA/BETA	ALFA Pendiente Ln(cpm/m ³)	BETA Pendiente Ln(cpm/m ³)
30 min - 50 min	Media	31,76 ($\pm 10,27$)	65,38 ($\pm 21,14$)	0,492 ($\pm 0,017$)	-1,150 ($\pm 0,038$)	-1,253 ($\pm 0,077$)
	RSD	32,3%	32,3%	3,5%	3,3%	6,1%
	Rango	[22,25 ; 56,17]	[45,54 ; 113,88]	[0,471 ; 0,527]	[-1,220 ; -1,098]	[-1,395 ; -1,161]
1 h 20 min - 1 h 50 min	Media	9,05 ($\pm 1,56$)	18,37 ($\pm 3,09$)	0,492 ($\pm 0,026$)	-1,128 ($\pm 0,092$)	-1,109 ($\pm 0,143$)
	RSD	17,3%	16,8%	5,3%	8,1%	12,9%
	Rango	[6,86 ; 11,47]	[14,10 ; 22,39]	[0,451 ; 0,529]	[-1,334 ; -1,024]	[-1,276 ; -0,812]
2 h 20 min - 3 h	Media	3,64 ($\pm 1,30$)	7,76 ($\pm 2,71$)	0,469 ($\pm 0,045$)	-0,872 ($\pm 0,263$)	-0,684 ($\pm 0,352$)
	RSD	35,7%	34,9%	9,6%	30,1%	51,5%
	Rango	[2,27 ; 6,49]	[4,57 ; 13,07]	[0,379 ; 0,526]	[-1,167 ; -0,443]	[-1,218 ; -0,041]
3h 35 min - 4 h	Media	1,53 ($\pm 0,42$)	3,56 ($\pm 0,90$)	0,432 ($\pm 0,051$)	-0,290 ($\pm 0,373$)	-0,310 ($\pm 0,197$)
	RSD	27,7%	25,2%	11,8%	-128,4%	-63,6%
	Rango	[1,08 ; 1,98]	[2,33 ; 4,56]	[0,369 ; 0,492]	[-0,630 ; 0,249]	[-0,549 ; -0,067]
4 h 10 min - 5 h 20 min	Media	1,12 ($\pm 0,49$)	2,94 ($\pm 1,23$)	0,381 ($\pm 0,040$)	-0,362 ($\pm 0,432$)	-0,171 ($\pm 0,094$)
	RSD	43,5%	41,8%	10,4%	-119,3%	-55,2%
	Rango	[0,64 ; 1,95]	[1,67 ; 5,14]	[0,330 ; 0,441]	[-0,929 ; 0,046]	[-0,330 ; -0,074]

De forma adicional, debido a la bajada brusca de la actividad de los hijos de vida corta del radón, se han empleado los contajes de las medidas fraccionadas (3 x 20 min.) para evaluar la emergencia. Para ello se ha representado el logaritmo neperiano de los contajes alfa y beta (cpm/m^3) y se ha calculado la pendiente de la recta formada por los tres puntos. Como se observa en la Tabla 3, las pendientes van cambiando con el tiempo de tránsito, y su dispersión también se incrementa cuando más alejada esté la medida de la toma de la muestra. Sin embargo, en el caso de que la medida se realice entre las tres primeras horas de tránsito, también se pueden emplear dichas pendientes para averiguar si el origen del contaje es natural o es una emergencia.

Para establecer las condiciones del protocolo de actuación, se han simulado tres situaciones de emergencia donde se ha producido una liberación de emisores α y/o β correspondientes a una dosis de 20, 5 y 1 mSv. Para ello se ha empleado el contaje debido al radón obtenido para un filtro en condiciones normales y se ha sumado una contribución alfa y/o beta constante equivalente a las dosis anteriores. En la Tabla 4 se muestran los resultados obtenidos para el contaje alfa y beta (cpm/m^3), la relación α/β y las pendientes de los contajes para los tres ciclos de 20 min.

Tabla 4. Resultados de alfa y beta en aire para diferentes escenarios de emergencia.

Emergencia	Tránsito	ALFA cpm/m^3	BETA cpm/m^3	Relación ALFA/BETA	ALFA Pendiente $\text{Ln}(\text{cpm}/\text{m}^3)$	BETA Pendiente $\text{Ln}(\text{cpm}/\text{m}^3)$
$\alpha > 20$ mSv	30 min	18,65	38,69	0,486	-1,153	-1,227
	1 h 30 min	6,04	11,94	0,506	-1,140	-1,104
	2 h 30 min	2,56	4,82	0,529	-0,687	-0,524
$\beta > 20$ mSv	30 min	18,19	429,94	0,042	-1,184	-0,109
	1 h 30 min	5,59	403,18	0,014	-1,241	-0,033
	2 h 30 min	2,10	396,06	0,005	-0,842	-0,006
$\alpha > 20$ mSv $\beta > 20$ mSv	30 min	18,65	429,94	0,043	-1,153	-0,109
	1 h 30 min	6,04	403,18	0,015	-1,140	-0,033
	2 h 30 min	2,56	396,06	0,006	-0,687	-0,006
$\alpha > 5$ mSv	30 min	18,33	38,69	0,477	-1,174	-1,227
	1 h 30 min	5,73	11,94	0,477	-1,207	-1,104
	2 h 30 min	2,24	4,82	0,462	-0,786	-0,524
$\beta > 5$ mSv	30 min	18,19	137,06	0,130	-1,184	-0,339
	1 h 30 min	5,59	110,30	0,050	-1,241	-0,119
	2 h 30 min	2,10	103,18	0,020	-0,842	-0,024
$\alpha > 5$ mSv $\beta > 5$ mSv	30 min	18,33	137,06	0,131	-1,174	-0,339
	1 h 30 min	5,73	110,30	0,051	-1,207	-0,119
	2 h 30 min	2,24	103,18	0,022	-0,786	-0,024
$\alpha > 1$ mSv	30 min	18,25	38,69	0,474	-1,180	-1,227
	1 h 30 min	5,65	11,94	0,470	-1,227	-1,104
	2 h 30 min	2,16	4,82	0,444	-0,817	-0,524
$\beta > 1$ mSv	30 min	18,19	58,96	0,302	-1,184	-0,792
	1 h 30 min	5,59	32,20	0,169	-1,241	-0,406
	2 h 30 min	2,10	25,08	0,083	-0,842	-0,098
$\alpha > 1$ mSv $\beta > 1$ mSv	30 min	18,25	58,96	0,303	-1,180	-0,792
	1 h 30 min	5,65	32,20	0,171	-1,227	-0,406
	2 h 30 min	2,16	25,08	0,086	-0,817	-0,098

El sombreado en rojo muestra aquellos casos en los que los valores de la relación α/β y de la pendiente se alejan considerablemente de los resultados del estudio de contribución de radón de la Tabla 3, que son todos aquellos en los que existe una emergencia debido a emisores beta. En esos casos, se ha calculado la actividad beta total, pero restando el contaje medio de radón para cada tiempo de tránsito. Los sesgos obtenidos son de -11 %, -6 % y -5 %, para 20 mSv de menor a mayor tiempo de tránsito (0,5 h, 1,5 h y 2,5 h); -30 %, -10 % y -7 %, para 5 mSv; y -131 %, -32 % y -15 %, para 1 mSv; respecto a la actividad real de la emergencia beta. Por tanto, cuanto mayor tiempo transcurra desde la toma de la muestra a la medida, el cálculo de la actividad será más correcto. Sin embargo, en el caso de las emergencias producidas por emisores alfa, la contribución de los hijos de vida corta de radón es muy elevada aún pasadas 3 h de tránsito, y no permiten que se detecte la emergencia. Por tanto, se debería llevar a cabo un estudio adicional para identificar los posibles emisores α y/o β responsables de la emergencia.

3.2. Suelo

En este caso, para poder identificar posibles emergencias se ha llevado a cabo un estudio del fondo radiológico de los suelos de la zona. Se han tomado los resultados de actividad beta total de puntos de la Comunitat Valenciana (Villanueva de Castellón, Gilet, Ayora, Burjassot y Paterna), que se encuentran en la REM. La actividad beta total media de los 25 datos recogidos es de 831,8 Bq/kg seco, siendo la desviación entre ellos del 13 %. Sin embargo, la actividad en otros puntos de España es muy diferente, con un rango de oscilación de 82 Bq/kg a 2066 Bq/kg en función del tipo de suelo. A partir de los datos recogidos en la zona de Valencia, se ha establecido un gráfico de control con el valor medio y los límites de aceptación de ± 3 veces la desviación.

En el caso de la actividad alfa, su análisis en España sólo se lleva a cabo en algunos programas de vigilancia ambiental de instalaciones que trabajen con emisores de ese tipo, como las fábricas de elementos combustibles. En esos puntos, la actividad alfa también es muy variable, con una media de 449,2 Bq/kg (RSD: 68 %) y un rango de 51 Bq/kg a 2870 Bq/kg.

También se ha medido 7 suelos alrededor de la UPV y se ha aplicado el protocolo de emergencia. En el caso de la A_β los resultados se han mantenido en el rango de aceptación del gráfico de control establecido anteriormente, siendo el valor medio de 830,6 Bq/kg (RSD: 8 %). Los resultados de A_α son menos uniformes, con una actividad media de 386,5 Bq/kg (RSD: 36 %) y un rango de actividades de 274 Bq/kg a 625 Bq/kg. Sin embargo, se encuentran dentro del rango de otros puntos de España.

Por otro lado, se puede valorar también la emergencia teniendo en cuenta el contaje (cpm) alfa y beta (previo al cálculo de la actividad) y se comparará con los obtenidos para muestras de suelo de la zona. El valor medio obtenido para alfa total es de 0,4 cpm, variando entre 0,27 y 0,52 cpm; y en el caso de beta total es de 4,2 cpm, con un rango de 3,9 a 4,5 cpm.

Además, los límites de detección en las condiciones propuestas se sitúan en torno a los 370 Bq/kg seco para alfa, y 460 Bq/kg seco para beta. En el caso de la A_α natural en suelos de la CV, está próxima al LD para el tiempo de medida y la cantidad de muestra seleccionada. Sin embargo, en caso de emergencia el contaje será superior al del fondo radiológico y podrá cuantificarse la actividad de la muestra.

3.3. Vegetación

Con el objetivo de valorar adecuadamente las situaciones de emergencia, se ha caracterizado el fondo radiológico de la CV de las muestras de vegetación anteriores, determinando la A_α y A_β natural que presentan. La A_β media de las muestras es de 211 Bq/kg húmedo, con un rango entre 104 y 308 Bq/kg; mientras que la A_α media es de 3,2 Bq/kg húmedo, variando entre 1,1 y 5,7 Bq/kg.

Estos valores se han comparado con los resultados de actividades alfa y beta de otros tipos de vegetación obtenidos en programas de vigilancia radiológica ambiental en el entorno de instalaciones, como la planta Quercus de fabricación de concentrados de uranio. Los resultados para algunas plantas acuáticas y bioacumuladoras tienen gran variabilidad, con actividades beta entre 67 y 5340 Bq/kg, y actividades alfa entre 7 y 3840 Bq/kg. Sin embargo, estos resultados son muy superiores a los encontrados en la vegetación de la CV, principalmente por la diferente concentración de uranio en el suelo.

Por otro lado, se puede valorar también la emergencia teniendo en cuenta el conteo (cpm) alfa y beta (previo al cálculo de la actividad) y se comparará con los obtenidos para muestras de vegetación de la zona de Valencia: alfa total media de 0,1 cpm, variando entre 0,07 y 0,15 cpm; beta total media 15 cpm, con un rango de 11 a 21 cpm.

Los límites de detección en las condiciones propuestas se sitúan en torno a los 18 Bq/kg húmedo para alfa, y 30 Bq/kg húmedo para beta. En el caso de la actividad alfa natural en vegetación de la CV, su valor es inferior al LD para el tiempo de medida y la cantidad de muestra seleccionada. Sin embargo, en caso de emergencia el conteo será superior al del fondo radiológico y podrá cuantificarse la actividad de la muestra.

4. CONCLUSIONES

El Laboratorio de Radiactividad Ambiental de la UPV ha implementado procedimientos para la evaluación de la actividad alfa total y beta total en muestras de aire, suelos y vegetación en situaciones de emergencia. Para ello se ha estudiado el fondo radiológico de la Comunitat Valenciana y se han establecido protocolos de actuación para dar una respuesta lo más rápida posible. Los tiempos requeridos para poder evaluar la emergencia son de 1,5 horas para muestras de aire, 2 horas para suelos y alrededor de 4,5 horas en el caso de la vegetación. De esta forma, el LRA-UPV podrá colaborar como laboratorio de apoyo junto a la Agencia Valenciana de Seguridad y Respuesta a Emergencias de la Generalitat Valenciana en caso de emergencia.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo quieren agradecer a la Universitat Politècnica de València por su financiación a través del “Programa propio para la Formación de Personal Investigador (FPI) de la Universitat Politècnica de València - Subprograma 1” en la convocatoria de 2015. También a la Agencia Valenciana de Seguridad y Respuesta a Emergencias de la Generalitat Valenciana, por la financiación a través de Convenios de colaboración desde 2016 para el Desarrollo del Plan de Vigilancia Radiológica Ambiental en Emergencias de la Comunitat Valenciana.

REFERENCIAS

Decreto 114/2013. 30 agosto, del Consell, por el que se aprueba el Plan Especial ante el Riesgo Radiológico de la Comunitat Valenciana, DOCV 02-09-2013.

EPA, 2012. EPA 402-R-12-006. *Radiological Laboratory Sample Analysis Guide for Incident Response - Radionuclides in Soil*. Montgomery: U.S. Environmental Protection Agency.

EPA, 2009. EPA 402-R-09-007. *Radiological Laboratory Sample Analysis Guide for Incidents of National Significance - Radionuclides in Air*. Montgomery: U.S. Environmental Protection Agency.

Real Decreto 783/2001. de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE-A-2001-14555.