

Modificación del programa de vigilancia ambiental para controlar PCDD/F y los metales en torno a la incineradora de residuos sólidos urbanos de Tarragona (SIRUSA)

Fuente:

'Modification of an environmental surveillance program to monitor PCDD/Fs and metals around a municipal solid waste incinerator' (Lolita Vilavert, Martí Nadal, Montse Mari, Marta Schuhmacher, y José L. Domingo .- 2009). ,Journal of Environmental Science and Health, Part A,44:13,1343 — 1352

URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10934520903213210>

Desde mediados de los años 90, se lleva a cabo un programa de vigilancia ambiental con el objetivo de proporcionar información sobre los niveles de PCDD / F (dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos) y diversos metales en muestras de suelo y vegetación recogida en las proximidades de Sirusa, una incineradora de residuos sólidos urbanos situada en Tarragona (Cataluña, España). Sin embargo, la presencia de otras posibles fuentes de contaminación en la zona, como el tráfico, incendios forestales, las industrias locales, etc, hace difícil determinar el impacto sobre la incineradora. Por lo tanto, en 2007 se realizó un cambio en el programa de monitoreo mediante la recopilación de muestras adicionales del aire ambiente a través de activos y pasivos de sistemas de muestreo. Los niveles de PCDD / F en hierba y tierra fue de 0,10 ng EQT-I/kg de peso seco (rango: 0.05-0.17 ng EQT-I/kg de peso seco) y 0,64 ng de EQT-I/kg DW (rango: 0.13-2.41 DW ng EQT-I/kg), respectivamente. Estos resultados pusieron de manifiesto una reducción significativa de la concentración de PCDD / F en ambos monitores respecto a las encuestas anteriores. La media de las concentraciones de PCDD / F en el aire fueron 12,04 y 15,21 WHO-TEQ/m³ FG en 2007 y 2008, respectivamente, lo que significa un aumento no significativo de 26%. Además, no se observó un aumento generalizado de los niveles de metales en el medio ambiente con respecto al estudio de referencia. Las concentraciones actuales de PCDD / F y los metales en las cercanías de la Incineradora de Tarragona (SIRUSA) son relativamente bajos en comparación con otras zonas bajo la influencia de las emisiones de las incineradoras de residuos. Esto indica que el impacto ambiental de la planta de Tarragona no es significativo. Por otra parte, la modificación realizada en el programa de vigilancia ha demostrado ser un éxito.

Introducción

Las dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos policlorados (PCDD/F) son subproductos accidentales de procesos de combustión de alta toxicidad y persistencia. Éstas son liberadas por diferentes fuentes naturales y antropogénicas, como los incendios forestales y el tráfico. Entre ellos, la incineración de residuos ha sido tradicionalmente considerada como una de las más importantes fuentes de emisiones de PCDD / F. A fin de reducir el impacto ambiental de incineradoras de residuos sólidos sobre PCDD / F, en los últimos años se ha llevado a cabo una iniciativa legislativa mediante la restricción de los niveles de emisión de 0,1 ng I-TEQ/m³. Esto se ha traducido en una disminución drástica de los PCDD / F en las proximidades de las instalaciones de incineración. A pesar de que las incineradoras ya no se encuentran en la primera posición como liberadores de PCDD / F, éstas son todavía una causa de considerable preocupación para la opinión pública. Más aún cuando las plantas de valoración emiten potencialmente cantidades importantes de metales contenidos en los residuos sólidos, como el mercurio (Hg), plomo (Pb), cobre (Cu), o el cromo (Cr), entre otros. La exposición a algunos de estos elementos se ha asociado a una serie de efectos adversos para la salud.

La planta de Tarragona (Constantí, Tarragona) está en funcionamiento desde 1991. Tiene una capacidad de 145.000 toneladas de residuos por año, cubriendo las necesidades de una población de aproximadamente 350.000 habitantes. Esta zona se caracteriza por una fuerte presencia industrial, con una gran refinería de petróleo, una planta de cloro-álcali y un incinerador de residuos peligrosos, entre otras empresas químicas. En 1996, se inició un programa de vigilancia a escala nacional para proporcionar información sobre el impacto medioambiental de la instalación, especialmente en lo relativo a PCDD / Fs y los metales. Se recogieron muestras de tierra y vegetación (antes y después de la aplicación de las nuevas medidas para depurar las mediciones; 1996-1999), tanto a largo como a corto plazo. En 2002, se inició un segundo estudio a escala. Durante un período de 4 años, se recogieron periódicamente muestras de suelo y vegetación, además se realizaron análisis de los niveles de metales y PCDD / F.

Según los resultados obtenidos, se concluyó que no existen riesgos significativos para la salud como se podía esperar de la población que vive en el barrio cercano a Sirusa debido a las emisiones de la chimenea. Sin embargo, se ha detectado un importante aumento de los niveles de PCDD / F en los suelos. Un estudio detallado de los resultados, especialmente los que tienen que ver con los PCDD / F de los congéneres, evidencian la incidencia de otras fuentes potenciales de la zona como es el caso del aumento de la contaminación a causa de un incendio forestal producido en la zona inmediatamente antes de la toma de muestras. Esto reafirma la necesidad de hacer una deriva en el programa de vigilancia ambiental para discriminar la influencia de la planta incineradora objeto de evaluación con respecto a estas otras fuentes en la misma zona (por ejemplo, el tráfico de los incendios forestales y las industrias locales).

Para llevar a cabo una evaluación más precisa del impacto ambiental de la incineradora y los riesgos de salud para la población, se llevó a cabo un cambio en el programa de monitoreo mediante la recopilación de muestras de aire ambiente también. Por un lado, la comparación de los niveles de inmisión y emisión debería conducir a una más fácil identificación de los efectos de la planta. Por otro lado, se podría realizar una mejor estimación de la inhalación de PCDD / F y los metales, que ha demostrado ser la vía más importante de la exposición del medio ambiente. No obstante, se ha mantenido la recogida de muestras de suelo y la vegetación con el fin de conseguir una gran base de datos de las tendencias temporales de la contaminación. En el presente estudio, se presentan los primeros resultados del programa de mejora de la vigilancia del medio ambiente. El primer objetivo fue determinar los niveles de PCDD / F y los metales en la vegetación, suelo y aire ambiente recogida en 2007-2008 en la vecindad de Sirusa. Un segundo objetivo era establecer las tendencias temporales en las concentraciones de estos microcontaminantes en el suelo y la vegetación mediante la comparación con los resultados de nuestras encuestas anteriores.

Materiales y métodos

Muestreo

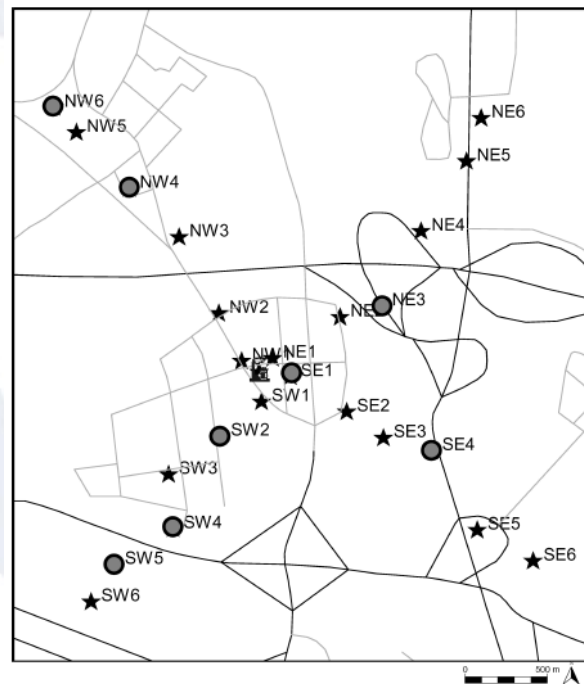
En junio de 2007, se recogió vegetación y muestras de aire ambiente en las proximidades de Sirusa. Se escogieron 8 puntos de muestreo de entre los 24 sitios originales de los cuales se disponía ya de datos sobre PCDD / F y metales en el suelo en base a estudios anteriores. Estas 8 muestras, consideradas como representativas de la zona, se recogieron a diferentes distancias (250, 500, 750, 1000, 1250, y 1500 m) y direcciones del viento de la instalación (Noroeste, Noreste, Sudeste, Sudoeste) de la planta. Las muestras de vegetación (*Piptatherum paradoxum* L.) fueron obtenidas cortando 25 cm, a 4 cm por encima del suelo. A su vez, dispositivos de alto volumen tomaron muestras del aire ambiente de la zona. Partículas de

PCDD / F en fase gaseosa fueron atrapadas por separado haciendo pasar el aire a través de un TE-1000-sampler PUF (Tisch Ambiental, Cleves, OH, EE.UU.) equipado con filtro de fibra de cuarzo (QFF) y espuma de poliuretano (PUF). Por otra parte, los PM10 adsorbidos por los metales en el aire se muestrearon con un dispositivo TE-6070-DV (Tisch Ambiental, Cleves, OH, EE.UU.). Los volúmenes de muestreo variaron entre 540 y 968 m³, y entre 1716-1803 m³ para PCDD / F y metales, respectivamente.

En junio de 2008, volvieron a recogerse muestras de la superficie del suelo y del aire ambiente en los mismos 8 puntos de muestreo. Las muestras de suelo fueron tomadas de la parte superior 3 cm y se almacenaron en bolsas de polietileno. Una vez en el laboratorio, las muestras del suelo fueron secadas a temperatura ambiente y se tamizaron a través de 2 mm de malla de pantalla para conseguir una homogeneización del tamaño de las partículas. En cuanto al aire, se llevó a cabo un método alternativo basado en un muestreo pasivo. Con la aplicación de una tasa de muestreo de 2 m³ / día, [20], el volumen total de aire se estimó en 182 m³.

Procedimiento analítico:

El pre-tratamiento de las muestras y de QFFs de la vegetación era previamente analizado y detallado. Una cantidad de 0.5 g de la hierba fue diluida con 5 ml del HNO₃ (65% Suprapur, E. Merck, Darmstad, RFA) en bombas del teflón, mientras que los filtros de aire fueron tratados con una mezcla de 2 ml del HNO₃ (el 65% Suprapur, E. Merck) y 3 ml de HF (37.5%, Panreac SA, Barcelona, España de Castellar del Vallès). Las muestras se dejaron a temperatura ambiente durante 8 horas, y calentadas a 80°C durante 8 horas adicionales. Después de enfriarse, los extractos fueron filtrados y completados con agua ultrapura hasta los 25 ml. Asimismo, los suelos fueron también tratados con un *Sistema de Digestión de Microondas* durante 10 minutos hasta llegar a una temperatura de 165°C mantenida durante 20 minutos. Las concentraciones de As, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Mg, Pb, Sb, Tl y V en aire, hierbas, y muestras del suelo fueron determinados por un espectrómetro inductivo unido al plasma (ICP-MS, Perkin Elmer Elan 6000), a excepción del Cr, del Ni y de V en herbaje, que eran analizados por espectroscopia de absorción atómica con la atomización del horno del grafito (AAS-GF, espectrofotómetro de Varian, espectros A-30). Para garantizar el control de calidad (QA/QC Quality Assurance /Quality Control), los estándares de la referencia (suelo, arcilla margosa, Resource Technology Corporation US., CRM 052), así como las muestras duplicadas, eran analizadas para verificar una buena capacidad de repetición y precisión del método. Del mismo modo, se insertaron espacios en blanco en cada hornada de 4 muestras para evitar potenciales interferencias. Los porcentajes de recuperación fueron del 73-121%, 86-106% y 70-97% en la vegetación, el suelo, y el aire, respectivamente.



★ Sampling points in previous surveys (1996-2005)

● Sampling points in the current study (2007-2008)

La determinación de PCDD/Fs se realizó por cromatografía de alta resolución de gases unida a una espectrometría total de alta resolución (HRGC/HRMS) según el método 1613 de los E.E.U.U. EPA. Los estándares etiquetados 13C12-PCDD/Fs de la extracción fueron agregados para comprobar el proceso de la preparación y para evaluar pérdidas potenciales. Los compuestos de interés fueron extraídos por medio de disolventes de extracción acelerada (ASE) con tolueno. Posteriormente, se llevó a cabo una limpieza con cromatografía de absorción. Finalmente, los extractos fueron concentrados e inyectados sobre una cromatografía de gas del tubo capilar de Agilent 6890 equipada con una columna capilar de DB5-MS y unida a un espectrómetro de masas de alta resolución (Autospec), con la grabación de iones en una resolución de más de 10.000. Los porcentajes recuperados fueron del 75%, el 77% y el 85% en la vegetación, el suelo, y el aire, respectivamente.

Estadísticas

Los análisis de datos fueron realizados usando el paquete de software de estadística de SPSS 15.0. La prueba de Levene fue aplicada para analizar la igualdad de variaciones. Las pruebas de ANOVA o de Mann-Whitney fueron ejecutadas posteriormente, dependiendo de datos siguieron una distribución normal o anormal, respectivamente. Una probabilidad menor a 0.05 ($P < 0.05$) era considerada como significativa.

Resultados y discusión

Las concentraciones de PCDD/Fs que cada muestra individual de vegetación, suelo y aire recogidas en 2007 y 2008 en los alrededores del MSWI de Tarragona quedan resumidas en la tabla 1. La variación temporal con respecto a nuestros exámenes anteriores también se indica. En la tabla número 2 se indica la media de las concentraciones, así como la desviación estándar y gamas de PCDD/Fs en los 3 monitores ambientales. En 2007, la media de PCDD/F en el forraje fue de 0,10 ng EQT-I/kg (0,09 ng EQT-OMS/kg en seco), oscilan entre 0,05 y 0,17 ng EQT-I/kg DW. Se observó una disminución de las concentraciones de PCDD/F en el forraje, respecto a los análisis anteriores, siendo significativa entre 2004 y 2007 (el 33%; $P < 0.05$). En el último período analizado (2004-2007), las concentraciones de PCDD/F habían disminuido en 6 puntos, mientras que aumentaron solamente en 2 localizaciones. En cambio, entre 1999 y 2007, se observó un aumento y una reducción de los niveles de PCDD/F en la vegetación en 4 y 2 puntos de muestreo, respectivamente. Por otro lado, no se detectó ninguna diferencia en los 2 puntos restantes.

En 2008, la concentración media de PCDD / F en suelo fue de 0,64 ng EQT-I/kg DW, y van desde 0,13 hasta 2,41 ng EQT-I/kg DW. Esto contrasta con los resultados obtenidos en los sondeos anteriores. Se observaron reducciones significativas al comparar la actual PCDD / F en los niveles del suelo con los encontrados en 7 puntos de muestreo realizados en el período 1999-2008 y en otros 5 puntos llevados a cabo entre 2005 y 2008. En estos casos se presentaron concentraciones medias de 1,20 ng de EQT-I/kg DW ($P < 0,05$) y 6,01 ng EQT-I/kg DW ($P < 0,05$), respectivamente. De hecho, las concentraciones disminuyeron en 7 puntos de muestreo entre 1999 y 2008, y en 5 puntos entre 2005 y 2008. Respecto a las concentraciones en el aire, el promedio de PCDD / F fue de 12,04 y 15,21 fgWHO-TEQ/m³ en 2007 y 2008, respectivamente, lo que significa un aumento no significativo del 26%.

Los perfiles congéneres de PCDD/F en el suelo, la vegetación y las muestras de aire ambiente recogidos en los alrededores del MSWI de Tarragona se representan en Fig. 2. El patrón de los congéneres de PCDD/F en suelo y la vegetación, en porcentaje, fue muy similar, independientemente de la campaña del muestreo. Sin embargo, si los congéneres de PCDD/F se muestran como concentraciones totales, se puede observar un aumento notable y significativo de OCDD y de furanos ligeros en los suelos examinados en 2005, cuando las concentraciones de 2,3,7,8 - TCDF, 1,2,3,7,8-PeCDF, 2,3,4,7,8-PeCDF y 1.2.3.4.7.8 - HxCDF aumentaron más de diez veces con respecto al estudio de la línea de referencia. Este aumento estaría más relacionado con otras fuentes potenciales de emisión de PCDD/F que con la influencia del MSWI aquí evaluado. De hecho, algunas semanas antes de muestreo del suelo, se produjo un incendio natural importante en la parte oriental de la zona de estudio. Como consecuencia del fuego, probablemente quedó depositada una cantidad importante de PCDD/Fs en la zona.

Se ha informado que la concentración de 2,3,7,8 - TCDF y la contribución de este congénere de PCDD/Fs en compartimientos ambientales aumenta significativamente después de un incendio, en comparación con los materiales y zonas no quemadas. La presencia de los furanos más volátiles también ha sido asociada a la combustión de madera. Para conseguir una fácil visualización de las localizaciones afectadas por la contaminación, se llevó a cabo un Análisis del Componente Principal (ACP) a los niveles de PCDD/F en los suelos de alrededor de la Planta de Tarragona, obtenido en 1999, 2005 y 2008. El Análisis de Componentes Principales (ACP) es una metodología usada con frecuencia para reducir cantidades grandes de datos a una pequeña muestra de componentes principales (CP). El ACP dio un modelo en 3-D, explicando el 87.9 % de la variación. El CP1 (66.5% de la variación) fue correlacionado positivamente con 2,3,7,8-TCDD, penta- y hexa-dioxinas, así como con 2,3,4,7,8-PeCDF, hexa y hepta furanos. El CP2 (11.9% de la variación) fue correlacionado negativamente con 2,3,7,8-TCDF y 1,2,3,7,8-PeCDF. Finalmente, el CP3 (9.5% de la variación) fue correlacionado con los congéneres tratados con cloro (OCDD y 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD). Las muestras de la línea de fondo (1999) y las actuales (2008), así como la mayor parte del estudio

Table 1. Concentrations of PCDD/Fs in herbage, soil and air samples collected in the surroundings of the MSWI of Tarragona (Catalonia, Spain) in 2007–2008, and temporal variation.

Samples Herbage ^a	Distance (m)	Year			% Temporal variation	
		1999	2004	2007	1999–2007	2004–2007
SE-1	250	0.21	0.15	0.16	-24	7
SW-2	500	0.06	0.13	0.09	50	-31
NE-3	750	0.10	0.25	0.10	0	-60
NW-4	1000	0.07	0.10	0.08	14	-20
SE-4	1000	0.08	0.11	0.06	-25	-45
SW-4	1000	0.05	0.23	0.05	0	-78
SW-5	1250	0.04	0.15	0.07	75	-53
NW-6	1500	0.07	0.09	0.12	71	33
Total TEQ		0.11 ^c	0.15 ^c	0.10	-9	-33*
Soil ^a		1999	2005	2008	1999–2008	2005–2008
SE-1	250	0.65	0.49	0.63	-3	29
SW-2	500	1.05	0.77	0.13	-88	-83
NE-3	750	4.89	1.86	0.28	-94	-85
NW-4	1000	0.95	0.75	0.31	-67	-59
SE-4	1000	1.62	15.61	0.13	-92	-99
SW-4	1000	1.45	0.74	0.34	-77	-54
SW-5	1250	2.09	0.50	2.41	15	382
NW-6	1500	0.90	0.72	0.86	-4	19
Total TEQ		1.20 ^c	6.01 ^c	0.64	-50*	-89*
Air ^b			2007	2008	2007–2008	
SE-1	250		32.53	10.96	-66	
SW-2	500		5.49	31.42	472	
NE-3	750		8.49	7.13	-16	
NW-4	1000		12.31	17.90	45	
SE-4	1000		19.92	20.62	4	
SW-4	1000		5.15	12.26	138	
SW-5	1250		8.48	7.61	-10	
NW-6	1500		3.93	13.76	250	
Total TEQ			12.04	15.21	26	

^aResults are expressed in ng I-TEQ/kg (dry weight).

^bResults are given in fg-WHO-TEQ/m³.

^cMean value of 24 samples.

Asterisks indicate significant differences at $P < 0.05$.

Table 2. Statistical data on PCDD/Fs in various environmental compartments in the vicinity of the MSWI of Tarragona (Catalonia, Spain).

Sample	Year	Mean	Stand.			
			Dev.	Median	Minimum	Maximum
Herbage	1999	0.11 ^a	0.05	0.14	0.11	0.29
	2004	0.15 ^b	0.06	0.14	0.09	0.25
	2007	0.10 ^a	0.04	0.09	0.05	0.17
Soil	1999	1.20 ^a	1.01	1.00	0.15	4.89
	2005	6.01 ^b	9.89	1.86	0.33	46.37
	2008	0.64 ^c	0.76	0.32	0.13	2.41
Air	2007	12.04	9.74	8.48	3.93	32.53
	2008	15.21	8.03	13.01	7.13	31.42

Values showing different superscripts (a,b,c) are significantly different at $P < 0.05$.

Concentrations in herbage and soil are expressed in ng I-TEQ/kg (dry weight). Air levels are given in fg WHO-TEQ/m³.

anterior (2005), formaron un solo grupo. Sin embargo, algunos suelos recogidos en 2005 presentaron altos valores del CP, principalmente de la parte oriental de la zona de estudio, donde ocurrió el incendio algunas semanas antes de muestrear.

Monitoring PCDD/Fs and metals near municipal incinerator

1347

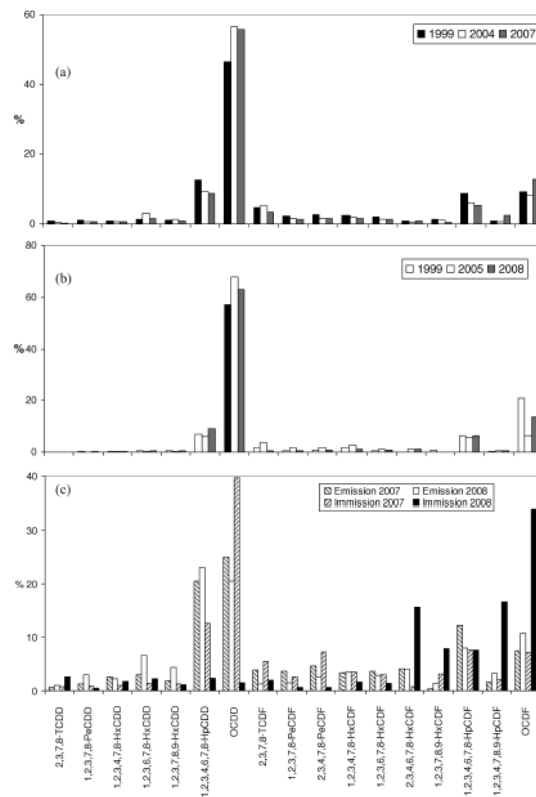


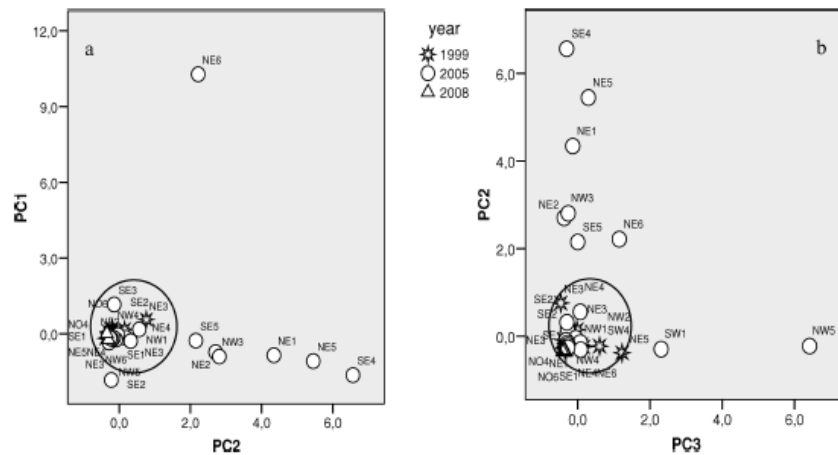
Fig. 2. PCDD/F congener profiles in (a) vegetation, (b) soil, and (c) emission and immission air samples collected in the surroundings of the MSWI of Tarragona (Catalonia, Spain).

El perfil de emisión en 2007 y 2008 se comparó con el de PCDD/Fs emitido por la planta. Las concentraciones de PCDD/F en pila del gas fueron divulgadas a 0.0013-0.0096 y 0.0033-0.0038 ng ITEQ/Nm³ en 2007 y 2008, respectivamente. Estos valores están muy por debajo del límite de la UE fijado en 0,1 ng I-TEQ/Nm³. El perfil de emisión de PCDD/Fcongener se mantuvo constante entre 2007 y 2008. Resultados similares fueron observados recientemente en otra planta situada en Barcelona. Por otra parte, se encontró una gran diferencia del perfil de la emisión en aire ambiente, probablemente como consecuencia de usar diversos dispositivos del muestreo del aire.

El muestreo activo del 2007 parecía aumentar la captura de dioxinas altamente tratadas con cloro, mientras que un porcentaje más alto de furanos fue absorbido por medio de métodos pasivos. De todos modos, no se observó ninguna diferencia notable en los valores totales de EQT examinados al usar los dispositivos activos (2007) o pasivos del muestreo (2008). Como resultado de la necesidad de controlar los niveles ambientales de los agentes contaminantes que recoge el Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes, en los últimos años el estudio de métodos pasivos alternativos ha aumentado notablemente. Por otro lado, resaltar que se han desarrollado diversos acercamientos de la teoría pasiva del muestreo.

Table 3. A summary of recent data concerning air concentrations of PCDD/Fs at different locations under the influence of emitter from waste incinerators.

Location	Assessed zone	Mean (Min-Max)	Units	Reference
Central Taiwan	MWI	(3.25–75.4)	fg I-TEQ/m ³	Chao et al. ^[37]
Hsinchu, Taiwan	Vicinity of a MSWI	(0.058–0.127)	pg TEQ/Nm ³	Cheng et al. ^[38]
Turkey	Hazardous waste incinerator	(0.050–0.075)	pg TEQ/m ³	Bakoglu et al. ^[39]
Northern Taiwan	MWI	(56–348)	fg I-TEQ/m ³	Chang et al. ^[40]
Central Taiwan	Around a MSWI	(140.9–209.9)	fg I-TEQ/m ³	Chao et al. ^[41]
Taiwan	MWIs	(0.08–3.01)	pg I-TEQ/m ³	Hu et al. ^[42]
Angers, France	Near a MSWI	65	fg I-TEQ/m ³	Glouennec et al. ^[4]
Korea	Around an industrial waste incinerator	(0.195–0.301)	pg I-TEQ/m ³	Kim et al. ^[44]
Taiwan	Around a MWI	0.24	pg I-TEQ/m ³	Lee et al. ^[45]
Hong Kong	Several sources of dioxins	0.069 (0.035–0.180)	pg I-TEQ/m ³	Tung et al. ^[46]
Bucheon, Korea	Around a MSWI	0.22–1.16	pg I-TEQ/m ³	Oh et al. ^[32]
Porto	Suburban	149	fg I-TEQ/m ³	Coutinho et al. ^[47]
Lisbon	Suburban	34		
Madeira	Rural/Forest	15		
Korea	Industrial incinerators	(0.347–0.606)	pg WHO-TEQ/Nm ³	Kim et al. ^[48]
St. Adrià del Besòs (Catalonia, Spain)	Around a MSWI	0.018 (0.010–0.024)	pg WHO-TEQ/m ³	Mari et al. ^[27]
	Background	0.012 (0.008–0.019)		
Taiwan	Around a MSWI	0.237	pg I-TEQ/Nm ³	Wang et al. ^[49]
Southern Taiwan	MSWI-1	0.090	pg I-TEQ/Nm ³	Wu et al. ^[50]
	MSWI-2	0.097		
Eastern China	Around a MSWI	(0.059–3.03)	pg I-TEQ/m ³	Xu et al. ^[51]
Tarragona, Spain	Around a MSWI	0.015 (0.007–0.031)	pg WHO-TEQ/m ³	Current study


Fig. 3. Principal Component Analysis of PCDD/Fs in soil: (a) PC1 vs. PC2; (b) PC2 vs. PC3.

Actualmente, existen varias metodologías disponibles como por ejemplo dispositivos semipermeables de la membrana, samplers XADresin y vidrio recubierto con polímero. Entre ellos, los discos de la espuma del poliuretano se han convertido en una de las técnicas más atractivas para el seguimiento, en vista de su bajo coste y simple manipulación. Sin embargo, la espuma de poliuretano requiere una calibración anterior basada en muestras activas y pasivas paralelas para calcular las tarifas ascendentes de la muestra. Aunque los métodos de estandarización de la espuma de poliuretano han sido principalmente dirigidos a los compuestos orgánicos semi-volátiles, estos métodos también se han optimizado para PCDD/Fs en los estudios anteriores, donde se estimó un valor de 2 m³/día es una tasa de muestreo pasivo de PCDD/Fs.

Estos últimos años, se han realizado una serie de investigaciones por todo el mundo con el objetivo de indicar el impacto ambiental de las instalaciones de la gestión de residuos. La tabla 3 resume las concentraciones de PCDD/Fs en aire ambiente alrededor de las varias incineradoras de residuos de diversas regiones y países. En términos generales, los niveles actuales de las partículas de PCDD / F se encuentran en la parte más baja del rango en comparación a otras plantas de incineración. En cuanto al suelo y la vegetación, los niveles de PCDD/Fs obtenidos en las muestras recogidas en los alrededores de la planta, también serían bajos comparados con los divulgados de otras incineradoras de residuos.

Table 4. Metal concentrations in vegetation and soil ($\mu\text{g/g}$), as well as in air samples (ng/m^3) collected in the surroundings of the MSWI of Tarragona (Catalonia, Spain) in 2007–2008.

	<i>Stand.</i>					
	<i>Mean</i>	<i>Dev.</i>	<i>Median</i>	<i>Minimum</i>	<i>Maximum</i>	<i>LOD</i>
Vegetation						
As	0.17	0.05	0.18	0.10	0.23	0.10
Be	nd	—	—	—	—	0.05
Cd	0.03	0.00	0.03	0.03	0.03	0.03
Co	4.70	1.80	4.58	2.33	8.76	0.05
Cr	0.08	0.01	0.08	0.06	0.09	0.25
Cu	1.24	0.30	1.23	0.86	1.88	0.10
Hg	nd	—	—	—	—	0.05
Mn	25.10	11.72	24.75	8.69	51.45	5.00
Ni	1.10	0.77	0.93	0.27	2.31	0.10
Pb	0.79	0.57	0.58	0.20	1.91	0.03
Sb	nd	—	—	—	—	0.10
Tl	nd	—	—	—	—	0.03
V	0.86	0.40	0.79	0.38	1.44	0.10
Soil						
As	5.88	2.67	6.06	1.59	9.79	0.10
Be	0.55	0.21	0.60	0.22	0.82	0.05
Cd	0.22	0.11	0.21	0.11	0.46	0.03
Co	4.20	1.61	4.61	1.21	6.18	0.05
Cr	14.95	6.76	16.97	4.27	24.37	0.25
Cu	21.26	9.89	22.69	7.42	35.75	0.10
Hg	nd	—	—	—	—	0.10
Mn	229.10	93.50	259.50	54.50	336.70	0.05
Ni	8.07	4.44	8.35	2.45	14.93	0.10
Pb	17.20	7.95	18.81	4.93	26.31	0.03
Sb	0.14	0.02	0.13	0.13	0.16	0.10
Tl	0.17	0.06	0.17	0.08	0.24	0.03
V	27.03	13.10	29.13	3.20	45.64	1.00
Air						
As	0.49	0.22	0.54	0.20	0.78	0.02
Be	0.07	0.04	0.08	0.04	0.11	0.02
Cd	0.11	0.07	0.10	0.01	0.20	0.01
Co	0.26	0.12	0.28	0.08	0.46	0.02
Cr	5.62	4.35	3.52	0.78	11.26	0.08
Cu	69.55	25.29	71.46	35.88	111.47	0.02
Hg	nd	—	—	—	—	0.03
Mn	4.18	—	4.18	3.40	4.95	0.02
Ni	6.63	2.67	7.06	3.14	10.46	0.08
Pb	2.30	2.53	1.09	0.46	6.60	0.01
Sb	nd	—	—	—	—	0.02
Tl	0.02	—	0.02	0.01	0.02	0.01
V	12.17	4.19	13.69	5.40	16.61	0.16

nd: non-detected. LOD: Limit of detection.

Por ejemplo, recientemente se encontró una concentración media de PCDD/Fs de 1.50 ng I-TEQ/kg en 33 muestras agrícolas del suelo en los alrededores de una planta situada al este de China. Esta cifra significaba un aumento del 39% respecto al año anterior. En cambio, se encontraron niveles más altos de PCDD/F en muestras del suelo que recogieron cerca de una planta incineradora situada en Bucheon (Corea), con un promedio de 19.06 ng I-TEQ/kg. En cuanto a la vegetación, comparar los resultados de diversos estudios puede ser en ocasiones algo complicado, ya que el tipo de monitor o referencia vegetal utilizado puede ser muy variable.

Por lo tanto, la acumulación de la deposición puede dar lugar a niveles muy diversos de PCDD/F. Las agujas del pino han sido uno de los más frecuentes biomonitores utilizados para determinar la contaminación. En cuanto a la comparación principal, las concentraciones de PCDD/F en las agujas del pino escocés (*sylvestris* L. de *Pinus*) en Polonia oscilaron entre 0.01 y 3.18 ng I-TEQ/kg dw. En Cataluña, se encontraron concentraciones substancialmente más altas de PCDD/Fs en la vecindad de una planta de incineración establecida en Montcada i Reixac (Barcelona), donde la concentración media en 120 muestras de suelo y 120 de vegetación fue de 3.49 y 1.81 1.81 ng I-TEQ/kg dw, respectivamente.

Table 5. Temporal variations of a number of elements in vegetation and soil samples in the vicinity of the MSWI of Tarragona (Catalonia, Spain).

Vegetation	1999	2004	2007	% Temporal variation	
				1999–2007	2004–2007
As	0.13 ± 0.01	0.09 ± 0.04	0.17 ± 0.07	31	89**
Be	nd	nd	nd	—	—
Cd	0.03 ± 0.02	0.02 ± 0.02	nd	—	—
Co	na	na	4.70 ± 1.93	—	—
Cr	0.27 ± 0.15	nd	0.08 ± 0.01	–70***	—
Cu	na	na	1.24 ± 0.32	—	—
Hg	nd	nd	nd	—	—
Mn	36.20 ± 1.32	28.12 ± 13.57	25.10 ± 12.53	–31	–11
Ni	1.02 ± 0.65	0.40 ± 0.59	1.10 ± 0.82	8	175*
Pb	1.22 ± 0.92	0.48 ± 0.37	0.79 ± 0.61	–35	65
Sb	na	na	nd	—	—
Tl	nd	nd	nd	—	—
V	0.60 ± 0.34	0.39 ± 0.19	0.86 ± 0.42	43	121***
Soil	1999	2006	2008	1999–2008	2006–2008
As	5.56 ± 3.45	4.54 ± 1.33	5.88 ± 2.67	6	30
Be	0.33 ± 0.12	0.48 ± 0.17	0.55 ± 0.21	67	15
Cd	0.15 ± 0.06	0.14 ± 0.06	0.22 ± 0.11	47	57*
Co	na	3.99 ± 1.48	4.20 ± 1.61	—	5
Cr	11.30 ± 4.25	11.40 ± 2.64	14.90 ± 6.76	32	31
Cu	na	14.70 ± 7.02	21.30 ± 9.89	—	45
Hg	0.06 ± 0.02	nd	—	—	—
Mn	223.90 ± 72.10	187.90 ± 77.40	229.10 ± 93.50	2	22
Ni	8.75 ± 2.87	8.63 ± 1.79	8.07 ± 4.44	–8	–7
Pb	25.70 ± 21.40	20.30 ± 10.70	17.20 ± 7.95	–33	–15
Sb	na	nd	0.14 ± 0.02	—	—
Tl	0.06 ± 0.02	0.07 ± 0.03	0.17 ± 0.06	183*	143*
V	16.00 ± 4.20	13.40 ± 5.51	27.00 ± 13.10	69	101*

Concentrations in µg/g (mean ± standard deviation).

nd: non-detected. na: not analyzed.

 Superscripts indicate significant differences at: **P* < 0.05; ***P* < 0.01; ****P* < 0.001.

Las concentraciones del metal en muestras del herbaje y aire que se recogieron en 2007, y la muestra de suelo obtenido en 2008, cerca de la planta de Tarragona (SIRUSA) se resume en la tabla 4. Se mostraron elevados niveles de manganeso en el herbaje y el suelo (25.10 y 229.10 µg/g, respectivamente), mientras que el Cu presentó la concentración máxima en el aire ambiente (69.55 ng/m³). En cambio, el hectogramo (hg) fue el único elemento con cantidades imperceptibles en los 3 monitores ambientales. El mercurio se ha detectado en bajas concentraciones en la superficie del suelo, incluso cerca de las plantas de valorización. Por otra parte, el Be, Sb y Tl en la vegetación, así como el Sb en aire, presentaron una baja concentración, por debajo de sus límites. Las principales concentraciones en la vegetación y suelos respecto a los análisis actuales (2007-2008) y anteriores (1999 y 2004-2006), así como la tendencia, quedan reflejadas en la tabla núm. 5. Entre 2004 y 2007, se refleja un aumento significativo de los niveles de As, Ni y de V en la vegetación. Sin embargo, en comparación con el estudio de 1999, ninguno de los metales aumentó perceptiblemente, mientras que los niveles medios de Cr disminuyeron perceptiblemente a partir de 0.27 a 0.08 µg/g (*P* < 0.001). Respecto al suelo, se encontró un incremento de tres veces para el Cd, el Tl y V, respectivamente (*P* < 0.05), al comparar con las concentraciones del examen anterior (2006). De hecho, solamente el Ni y el Pb demostraron una concentración menor, a la baja. El Tl era el único metal que creció perceptiblemente con respecto al examen de 1999. En cuanto al suelo y la vegetación, los niveles actuales son bajos en comparación con otras zonas afectadas por las instalaciones de la gestión de residuos, de España o de todo el mundo. Respecto al aire, se publicó recientemente un estudio sobre los niveles de PM₁₀ y los metales en varias estaciones de calidad del aire de España. Las concentraciones del metal cerca de la planta de valorización de Tarragona (SIRUSA) disminuyeron sensiblemente a mínimos.



SIRUSA

Serveis d'Incineració de Residus Urbans SA

En resumen, las concentraciones ambientales encontradas en el análisis actual en relación a las proximidades de Sirusa son relativamente bajas en comparación con las observadas en las áreas afectadas por fuentes urbanas e industriales, incluyendo las incineradoras de residuos. El estudio de las tendencias temporales de PCDD/Fs y los metales en el suelo y la vegetación no demostraron cambios significativos. Además, los niveles aerotransportados de PCDD/Fs no cambiaron perceptiblemente entre 2007 y 2008, con solamente un aumento leve a partir del 12.04 15.21 al fg WHO-TEQ/m³. La modificación del programa de la vigilancia ha demostrado ser acertada puesto que la cantidad de información disponible se ha ampliado. Los resultados antes citados indican que las consecuencias para el medio ambiente de la planta de Tarragona no son significativas en términos de PCDD/Fs y metales.

