

Muestreo y análisis del polvo respirable depositado en exteriores e interiores del CEIP El Quiñón, Seseña



Realizado en colaboración entre:

Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (IDAEA-CSIC), y

Departamentos de Medio Ambiente y la División de Química del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT)



30 de mayo de 2016

Autores

Marco Pandolfi, Fulvio Amato, Andrés Alastuey, Mercé Cabañas, Silvia Martínez, Rebeca Vázquez, Xavier Querol, del IDAEA-CSIC

Begoña Artíñano, Elías Diaz Ramiro, (Departamento de Medio Ambiente) y Rosa M^a Perez Pastor, Susana García Alonso (División de Química), del CIEMAT

Antecedentes y objetivos

El incendio del vertedero de neumáticos de Seseña ha emitido grandes cantidades de material particulado atmosférico en suspensión (PM) rico en material carbonoso y con cantidades menores de algunos metales típicamente presentes en los neumáticos, como el zinc (Zn), y azufre.

Al producirse una combustión en malas condiciones y con un déficit de oxígeno (O₂) se produce una combustión deficiente con altas tasas de emisión de material gráfico (carbono elemental o CE) que da el típico aspecto negro a la columna y penacho del incendio. Además de este carbón pirolizado por déficit de O₂ en la combustión, se co-emiten una gran variedad de hidrocarburos, entre ellos los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), con un elevado potencial de impacto en la salud y ecosistemas. Además en presencia de concentraciones relevantes de cloro, podrían formarse y emitirse dioxinas.

En las fases finales del incendio, cuando la temperatura no es tan elevada y se consume el combustible a modo de brasas, siguen existiendo emisiones importantes de compuestos volátiles y PM. Además al no existir un flujo térmico convectivo tan importante como en las primeras fases (de llama) el penacho de contaminantes no se eleva tanto, y su impacto en superficie puede ser elevado aunque la carga de contaminantes sea menor. En esta fase es muy importante la proporción de partículas secundarias, es decir aquellas no emitidas como sólido negro, sino generadas en la atmósfera a partir de los precursores gaseosos que se emiten en la segunda fases del incendio.

Una vez emitidas, las partículas tienen de 1 a 7 días de vida media en la atmósfera, hasta que se depositan en superficie. Éste puede producirse de una manera muy efectiva por el lavado de las mismas por procesos de precipitación atmosférica. Si no, su extracción de la atmósfera se produce por vía seca, por depósito gravitacional o intercepción, y ocurre en espacios y distancias variables en función de la dirección y velocidad del viento, el tamaño de las partículas, y al presencia de barreras en la trayectoria de transporte.

Una vez depositado, este material puede ser resuspendido por la acción del viento o por resuspensión mecánica por el tráfico vehicular. Es importante resaltar que la resuspensión por acción del viento puede ser muy importante en el área quemada si no se retiran inmediatamente las cenizas del 'área cero' una vez quemados los neumáticos

Hemos de decir también que estos contaminantes pueden infiltrarse en ambientes interiores bien por infiltración directa del aire contaminado o por arrastre por ropa y calzado de los residentes.

En la zona afectada por el depósito pasado y posiblemente actual de estos contaminantes existen áreas habitadas, en las que se localizan centros de enseñanza, por lo que el depósito de estos contaminantes puede afectar a la exposición de los habitantes por procesos de resuspensión. En base a lo expuesto, se decidió realizar medidas de la carga de depósito de PM₁₀ (partículas respirables, o inferiores a 10 micras, siendo una micra la milésima parte de un milímetro) en los patios y en las aulas de uno de los colegios más próximos al incendio, el CEIP El Quiñón, en Seseña.

Dado que no hay valores de referencia para la protección a la salud en cuanto a depósito de metales, de HAPs y dioxinas, se decidió realizar el mismo estudio en un colegio no afectado, y para ello se seleccionó el CEIP Miguel Delibes en El Viso de San Juan, a unos 22 km hacia el Oeste del foco, donde según el análisis de la distribución de los vientos (rosa de los vientos) desde el momento del inicio del incendio, la probabilidad de impacto de la nube contaminada era muy baja.

Para ello nos desplazamos a los dos colegios y se aspiraron las superficies de patios e interiores de aulas, con un dispositivo aspirador equipado con cabezal de corte de PM respirable (PM10). Tras el corte de 10 micras las partículas se retuvieron en un filtro ultrapuro de microfibra de cuarzo y se determinó, tanto la cantidad de PM respirable depositado por metro cuadrado, como la de los metales, HAPs y dioxinas.

Para el análisis de metales se recogió también muestras de PM depositado superior a 10 micras.

En este primer informe se recogen solamente los resultados de PM, metales y HAPs, ya que el procedimiento de análisis de dioxinas requiere unos tiempos superiores a la fecha de emisión de este informe.

Queremos remarcar que dada la premura con la que se nos ha requerido este primer informe debemos considerar sus resultados como preliminares, y que en un periodo de tiempo reducido emitiremos uno complementario más completo con resultados sobre dioxinas.

Metodología

Se recogieron muestras de partículas respirables (con diámetro aerodinámico inferior a 10 micras - 10 μm) depositadas en superficies del interior y exterior de 2 colegios: a) CEIP El Quiñón (Seseña), situado a 700 m al Este del incendio de neumáticos (Figura 1) y b) CEIP Miguel Delibes, El Viso De San Juan, situado 22 km al oeste del incendio (Figura 2), y por lo tanto considerado como lugar de fondo o referencia sin impacto del incendio.



Figura 1. Situación de los CEIP El Quiñón (superior) y Miguel Delibes (inferior) y de los puntos de muestreo (estrellas) en el interior y exterior.

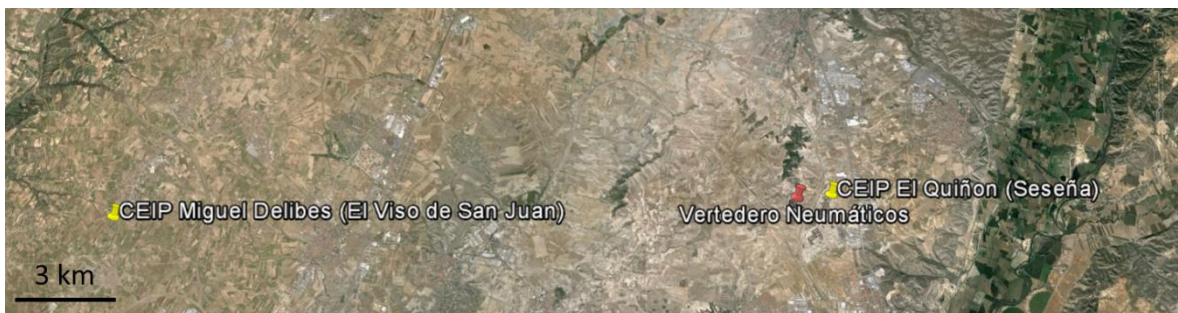


Figura 2. Mapa general con las ubicaciones de los 2 CEIPs y del vertedero de neumáticos.

Las muestras fueron recogidas mediante un muestreador (patente ES2409804B1) por aspiración para partículas depositadas respirables (o PM10, Figura 3). Las partículas se aspiran (28 L/min) durante 10 minutos sobre 1 metro cuadrado (m²) de superficie y se recogen en filtros de fibra de cuarzo Pallflex, previamente acondicionados y pesados; y mediante posterior análisis gravimétrico es posible cuantificar la carga de partículas respirables depositadas por 1 m². Con el objetivo de recoger suficiente muestra para los análisis químicos, los filtros del interior se utilizaron para 2 metros cuadrados por un total 20 minutos de aspiración.

El muestreo se realizó el día 26 de mayo de 2016, entre 11:15 y 14:30 h en CEIP El Quiñón y entre 16:00 y 19:00 h en el CEIP Miguel Delibes.

En total se recogieron 20 muestras, incluyendo:

- 3 filtros de partículas respirables en el interior (aulas de la primera planta) del CEIP El Quiñón (Seseña)
- 3 filtros de partículas respirables en el exterior (campo de fútbol) del CEIP El Quiñón (Seseña)
- 3 filtros de partículas respirables en el interior del CEIP Miguel Delibes (El Viso de San Juan)
- 3 filtros de partículas respirables en el exterior del CEIP Miguel Delibes (El Viso de San Juan)
- 2 muestras de partículas >10 µm en el interior (aulas de la primera planta) del CEIP El Quiñón (Seseña)
- 2 muestras de partículas >10 µm en el exterior (campo de fútbol) del CEIP El Quiñón (Seseña)
- 2 muestras de partículas >10 µm en el interior del CEIP Miguel Delibes (El Viso de San Juan)
- 2 muestras de partículas >10 µm en el exterior del CEIP Miguel Delibes (El Viso de San Juan)

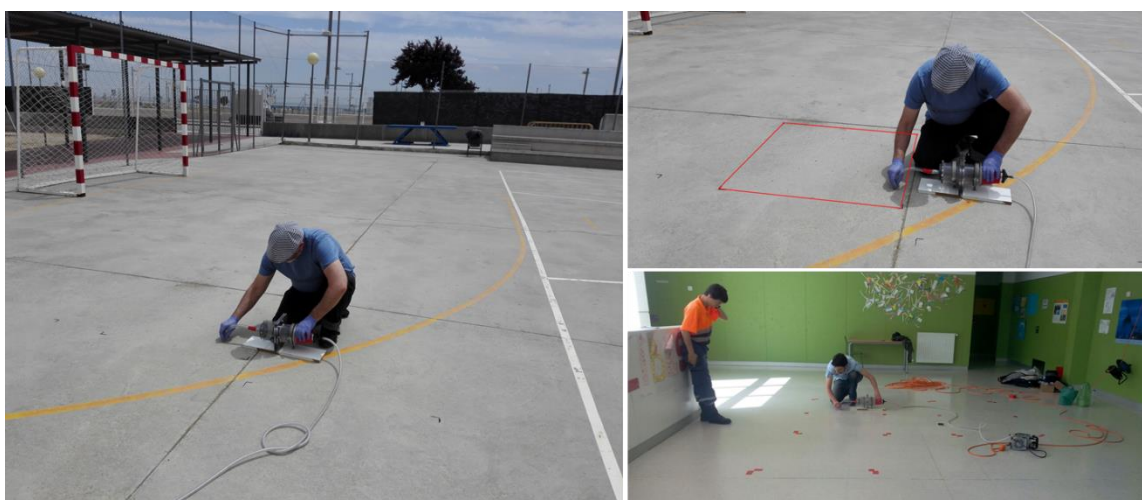


Figura 3. Muestreo de partículas respirable depositadas en el interior y exterior de los colegios.

Una vez pesados, los filtros muestreados se han analizado en los laboratorios del IDAEA CSIC (en Barcelona) y del CIEMAT (en Madrid) para la determinación de elementos mayoritarios y en traza (metales) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), respectivamente.

Análisis de metales (IDAEA-CSIC)

El tratamiento de muestras para el análisis para metales se llevó a cabo mediante digestión ácida con 5 ml HF, 2.5 ml HNO₃, 2.5 ml HClO₄ en estufa a 90°C (para partículas >10 µm con 7.5 ml de HF, 2.5 ml HNO₃, 2.5 ml HClO₄) durante 6 horas, secadas en placa a 220-240°C, recuperada en una solución de 25 ml de agua MilliQ + 1.2 ml de HNO₃ y centrifugada para la determinación de componentes mayoritarios y en traza mediante Espectrometría de emisión atómica y de masa de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES y ICP-MS, respectivamente).

Análisis de HAPs (CIEMAT)

Los filtros se han pesado y dividido en dos porciones para su análisis. La primera se ha extraído con cloruro de metileno mediante agitación mecánica y ultrasonidos, y el extracto se ha analizado mediante HPLC/FI y ultravioleta.

La segunda porción se ha extraído con DCM:MeOH en ultrasonidos. El extracto concentrado se ha analizado mediante GC/MS en modo SIM.

Determinación de PAHs mediante HPLC/FI

Cada una de las alícuotas fueron pesadas y extraídas con volúmenes de 2.5 mL de cloruro de metileno mediante ultrasonidos y agitación mecánica. El protocolo analítico de cada extracción se realizó al menos por triplicado para asegurar eficiencia de extracción y el extracto resultante fue reunido, filtrado y concentrado bajo corriente de nitrógeno a un volumen final de 100 µL (acetonitrilo). Las condiciones cromatográficas aplicadas para el análisis de los compuestos incluyeron: empleo de una columna de C18 y a temperatura constante de 36.7°C, a un caudal de 1.5 ml/min y gradiente de 25% (acetonitrilo) hasta el 100% en 30 minutos. La cuantificación se efectuó mediante calibrado externo con disoluciones cubriendo el intervalo dinámico lineal comprendidas entre 10 – 1000 ng/mL. Los coeficientes de correlación estuvieron por encima de 0.999.

Condiciones	Condiciones de fluorescencia	condiciones de ultravioleta v
Columna: Supelcosil C18 (5 µm, Gradient, 1.5 mL/min	FD detección: $\lambda_{exc}/\lambda_{em}$ 0' min – 280/320	Ultravioleta visible: λ 0 min - 223
2' – 45/55	13.10' – 250/360	14.4 – 240
28' – 100/0	14.15' – 250/370	20.6-287
31' – 100/0	16.65' – 250/370	24.2-295
33' – 45/55	19.10' – 270/390	
37' – 45/55	21.80' – 300/430	

Determinación de PAHs mediante GC/MS

El método analítico utilizado se basa en el utilizado por Alier et al. (2013).

- Previo a la extracción, se marca la mitad del filtro con 25 µL de un patrón de “surrogates”: antraceno-d10, benzo(a)antraceno-d12, benzo(k)fluoranteno-d12 y benzo(g,h,i)perileno-d12.
- La extracción se realiza por triplicado con 5 mL de diclorometano:metanol (2:1 v/v) en ultrasonidos durante 15 minutos.
- Se filtra el extracto resultante en membrana de teflón de 22 µm, y se concentra hasta sequedad en corriente de nitrógeno. Se redissuelve en 0,5 ml de hexano:diclorometano (9:1 v/v).
- El extracto se concentra en corriente de nitrógeno hasta 50 µL, y se le añaden 5 µL del patrón interno pireno-d10.
- Se inyecta en un GC/MS Agilent 6890/5975B, equipado con una columna DB5MS (30m, 0.25 mm x 0,25 µm). La temperatura del horno comienza en 50°C, y se calienta hasta 90°C (100°C/min), manteniéndose 5 min, después hasta 200°C (5°C/min), hasta 300°C (10°C/min), y hasta 320°C (20°C/min), manteniéndose durante 7 minutos.

Se inyectan 2 µl en un inyector split-splitless, que se mantiene a 280°C. La temperatura de la fuente de iones se mantiene a 230°C, y el cuadrupolo a 150°C. Se utiliza helio como gas portador a 1 ml/min. El detector de MS opera en modo SIM. En la Tabla se indican los compuestos cuantificados, así como los iones seleccionados para su monitorización.

Resultados

Masa de partículas depositadas

En la Tabla 1 se muestra la carga total de partículas depositadas respirables (o PM10), por unidad de superficie, en el interior y exterior de los dos colegios, según análisis gravimétrico de los filtros. En el interior, se observan concentraciones 6 veces mayores para el colegio El Quiñón, con respecto al colegio de El Viso de San Juan. Sin embargo, en el exterior no se observa el mismo patrón, siendo mayores las concentraciones en El Viso debido a que el colegio está situado en una zona rural, con escasa cobertura vegetal, lo que provoca un alto aporte de materia mineral a las concentraciones de partículas depositadas, aunque se riegue con frecuencia. En conclusión, la masa total de partículas depositada no es un buen indicador del impacto del incendio, por lo que es necesario investigar trazadores específicos, a continuación.

No obstante cabe resaltar que las cargas de masa de PM no son elevadas, y muy inferiores a los producidos por las emisiones de obras de construcción u otras emisiones similares. Así se miden en exteriores entre 9.5 y 13.8 mg/m², mientras que en zonas urbanas afectadas por obras se alcanzan valores superiores a 100 mg/m². Hay que resaltar que según nos informó personal del CEIP El Quiñón, desde el incendio se ha regado y lavado 4 veces los patios y el

campo de futbol asfaltado donde se muestreó. Los interiores se han lavado 2 días desde el incendio (barrido, lavado con lejía y ambientador de suelo).

Por comparación la carga media de PM respirable en los asfaltos de la zona centro de Madrid y Barcelona alcanzan 3-6 mg/m². NO son comparables los ambientes pero no tenemos referencias de colegios.

Tabla 1. Carga de partículas respirables depositadas (inferior a 10 micras, PM10) por unidad de superficie.

	CEIP El Quiñón (Seseña)		CEIP Miguel Delibes (El Viso de San Juan)	
	Interior	Exterior	Interior	Exterior
mg/m ²	4.0	9.5	0.7	13.8

Masa de óxidos mayores y metales depositados

Las Tablas 2 y 3 muestran que partículas respirables sedimentadas (PM10 sedimentado) están constituidas en una gran proporción por materia mineral procedente de resuspensión de suelos de la zona o de parques de arena o suelo. Entre el 70 y 59% de estas partículas son de origen mineral.

Los resultados de análisis de metales muestran concentraciones muy elevadas de Zinc (Zn) y elevadas de Cobalto (Co) en el patio del CEIP El Quiñón y no en el interior de las aulas. Las concentraciones de estos elementos en PM depositado son en el exterior del CEIP El Quiñón 21 y 100 veces mayores que en el CEIP Miguel Delibes.

Los niveles de sulfato (SO₄²⁻) son muy superiores en los exteriores del CEIP El Quiñón que en el CEIP Miguel Delibes (por un factor de 11). En interiores esta relación se mantiene pero en un ratio inferior (5).

La suma de óxido de zinc (ZnO) y sulfato (SO₄²⁻) alcanza un 24% en la composición química del PM respirable depositado en los exteriores del CEIP El Quiñón, mientras que se mantiene entre 1y 2% en interiores de los dos CEIPs y en los exteriores del CEIP Miguel Delibes. Mostrando así el claro impacto del depósito de cenizas del incendio en los exteriores de El Quiñón.

Otros elementos como Cobre (Cu), Estroncio (Sr), Estaño (Sn), Antimonio (Sb) y Plomo (Pb) son ligeramente más altas. Así, las concentraciones en las superficies del exterior del CEIP El Quiñón son respectivamente 3, 2,1.5, 1.5 y 1.3 veces mayores que en el CEIP Miguel Delibes.

En el interior del aula, las concentraciones siguen siendo superiores, pero en menor grado para los elementos de mayor concentración: 2 (Zn), 3 (Co), 19 (Cu), 13 (Sr), 3, (Sn) 2 (Sb) y 6 (Pb) veces mayores.

El origen del Zn y del SO₄²⁻ está claramente relacionado a la combustión de los neumáticos, que provocan concentraciones muy elevadas en el exterior del CEIP El Quiñón (723 y 1371 µg/m², respectivamente). La gran diferencia en Co entre los dos colegios también sugiere una

importante contribución del incendio al Co. En la fabricación de neumáticos se añade esfalerita (sulfuro de Zn, o ZnS) que durante la combustión de los neumáticos genera óxido de zinc (ZnO) y sulfato (SO_4^{2-}), este último a través de la oxidación del SO_2 emitido o bien directamente como sulfato de Zn. La razón de las altas concentraciones de Co es menos clara, pues las concentraciones en los neumáticos de este elemento son relativamente bajas.

Para Cu, Sn, Sb y Pb las mayores concentraciones en el CEIP El Quiñón podrían deberse más a las emisiones del tráfico rodado de la autopistas R4 y A4 muy próximas a la urbanización de El Quiñón. Estos elementos son típicamente emitidos por las pastillas de freno de los vehículos.

Con respecto al Sr, más elevado en CEIP El Quiñón, su origen está con toda probabilidad relacionado al uso de tizas en las aulas. El mucho mayor contenido de CaO en el interior de este colegio apunta también a este origen, pero otras causas como la utilización como cargas en pinturas no puede ser descartada.

En conclusión, los niveles de metales depositados originados por el incendio son el Zn y el Co, que logran respectivamente 3.21 y 0.02 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ en las aulas y 749 y 13 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ en el exterior. Además, los niveles de SO_4^{2-} son también un orden de magnitud superiores en el exterior de CEIP El Quiñón que del CEIP de referencia. Las concentraciones de SO_4^{2-} , Zn y Co en el interior se reducen mucho (de 1371 a 65 μ/m^2 para SO_4^{2-} , 749 a 3.21 μ/m^2 para Zn y de 12.9 a 0.02 μ/m^2 para Co), reduciendo mucho la diferencia entre los CCEIP El Quiñón y Miguel Delibes (65 a 14 μ/m^2 para SO_4^{2-} , 3.2 y 1.4 μ/m^2 para Zn, 0.02 y 0.01 μ/m^2 para Co). Por tanto deducimos que la alta influencia del depósito de cenizas en el exterior se reduce en el interior hasta aproximarse bastante a concentraciones de referencia (CEIP Miguel Delibes) para Zn y Co.

Hay metales, como Ti, Rb, Zr, Sc, Ba, V, entre otros que están en mayor concentración en el CEIP Miguel Delibes, simplemente porque están asociados polvo mineral del suelo o de algún parque, y la carga de este polvo mineral es mayor en este colegio. Se demuestra ello por la mayor carga de Si, Al, K, Mg, típicamente minerales.

El contenido de Zn y Co en el polvo del exterior del CEIP El Quiñón es de 6 y 0.1% (Tabla 3). En la fracción superior a 10 micras, estas concentraciones se reducen considerablemente (1 y 0.02%, respectivamente, Tabla 3), debido a la fina distribución de tamaño de las partículas originadas por la combustión de neumáticos. Lo mismo ocurre con el SO_4^{2-} , reduciendo este de un 14.4% en la fracción respirable a un 2.6% en la fracción gruesa.

Tabla 2. Cargas de óxidos mayores y elementos traza depositados en microgramos por metro cuadrado de superficie ($\mu\text{g}/\text{m}^2$). Sombreado en amarillo se indican los metales con concentraciones ligera o marcadamente superiores en CEIP El Quiñón.

$\mu\text{g}/\text{m}^2$	SEÑ 2 El Quiñón Interior	SEÑ 6 El Quiñón Patio	SEÑ 10 M. Delibes Interior	SEÑ 11 M. Delibes Patio
SiO ₂	275	1207	92	2501
Al ₂ O ₃	110	483	37	1000
CaO	1375	1796	104	1867
Fe ₂ O ₃	48	301	12	422
K ₂ O	54	147	12	342
MgO	55	157	38	423
Na ₂ O	35	59	10	124
P ₂ O ₅	32	44	3	46
TiO ₂	11	34	3	136
CO ₃	1080	1411	82	1467
Total mineral	3075	5639	394	8327
% mineral/PM	78	59	61	60
SO ₄ ²⁻	65	1371	14	120
ZnO	4	933	2	44
Suma	69	2304	15	163
%SO ₄ ²⁻ +ZnO/PM	2	24	2	1
Li	0.06	0.31	0.01	0.39
Be	<0.01	0.02	<0.01	0.03
Sc	<0.01	0.03	<0.01	0.06
V	0.30	0.36	0.14	0.69
Cr	0.19	0.62	0.12	1.10
Mn	0.64	3.97	0.16	5.75
Co	0.02	12.9	0.01	0.14
Ni	0.29	0.60	0.05	0.54
Cu	1.59	5.99	0.08	1.36
Zn	3.21	749.4	1.40	35.0
Ga	0.01	0.07	<0.01	0.13
Ge	<0.01	0.12	0.06	0.13
As	0.07	0.14	0.03	0.11
Se	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Rb	0.19	0.87	0.05	2.64
Sr	1.92	8.12	0.15	4.03
Y	0.02	0.11	0.02	0.20
Zr	<0.01	0.53	0.08	1.01
Nb	0.01	0.06	<0.01	0.10
Mo	0.05	2.18	1.01	1.99
Cd	<0.01	0.05	<0.01	0.02
Sn	0.05	0.35	0.02	0.20
Sb	0.01	0.35	0.01	0.12
Cs	0.01	0.05	<0.01	0.11
Ba	1.01	4.11	0.66	6.67
La	0.04	0.17	0.01	0.27
Ce	0.08	0.28	0.02	0.55
Pr	0.01	0.04	<0.01	0.06
Nd	0.03	0.42	0.01	0.25
Sm	<0.01	0.02	<0.01	0.05
Eu	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Gd	0.01	0.02	<0.01	0.05
Tb	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Dy	<0.01	0.02	<0.01	0.04
Ho	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
Er	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Tm	<0.01	<0.01	<0.01	0.00
Yb	<0.01	0.01	<0.01	0.02
Lu	<0.01	<0.01	<0.01	0.00
Hf	<0.01	0.01	<0.01	0.03
Ta	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
W	0.01	0.04	0.01	0.06
Tl	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Pb	0.26	1.75	0.04	1.17
Bi	<0.01	0.01	<0.01	0.01
Th	<0.01	0.05	0.01	0.10
U	<0.01	0.03	<0.01	0.03

Tabla 3. Concentraciones de óxidos mayores y elementos traza en partículas sedimentables respirables (PM10) de las muestras de CEI El Quiñón y CEIP Miguel Delibes.

mg/kg	PM10	PM10	PM10	PM10	PM>10	PM>10	PM>10	PM>10
	4.0	9.5	0.7	13.8				
	SEÑ 2	SEÑ 6	SEÑ 10	SEÑ 11	SI	SE	VI	VE
	El Quiñón	El Quiñón	M. Delibes	M. Delibes	El Quiñón	El Quiñón	M. Delibes	M. Delibes
	Interior	Patio	Interior	Patio	Interior	Patio	Interior	Patio
% en peso								
SiO ₂	7.0	12.7	14.1	18.1	13.1	10.5	20.6	16.8
Al ₂ O ₃	2.8	5.1	5.6	7.2	5.3	4.2	8.2	6.7
CaO	34.8	18.9	16.1	13.5	6.6	5.2	4.9	4.8
Fe ₂ O ₃	1.2	3.2	1.9	3.1	0.6	1.6	1.3	1.5
K ₂ O	1.4	1.6	1.9	2.5	2.9	2.1	3.5	3.0
MgO	1.4	1.7	5.8	3.1	0.6	0.6	0.9	1.3
Na ₂ O	0.9	0.6	1.6	0.9	1.8	1.9	3.1	2.6
P ₂ O ₅	0.8	0.5	0.5	0.3	0.2	0.2	0.1	0.2
TiO ₂	0.3	0.4	0.5	1.0	1.2	2.6	0.4	0.4
CO ₃ ²⁻	27.4	14.9	12.6	10.6	5.2	4.1	3.8	3.7
% mineral/PM	78	59	61	60	37	33	47	41
SO ₄ ²⁻	1.7	14.4	2.1	0.9	1.2	2.6	0.4	0.4
ZnO	0.1	9.8	0.3	0.3	0.01	1.23	0.02	0.12
%SO ₄ ²⁻ +ZnO/PM	2	24	2	1	1	4	0	0
Li	15	33	23	28	13	13	14	13
Be	<1	2	<1	2	1	3	2	1
Sc	<1	3	<1	5	1	3	1	2
V	75	38	210	50	17	80	29	25
Cr	47	65	189	80	16	68	35	50
Mn	163	418	245	417	96	167	164	242
Co	5	1355	11	10	1	157	3	4
Ni	73	64	84	39	10	7	255	16
Cu	402	631	128	98	27	124	321	75
Zn	812	78883	2161	2539	120	9888	195	944
Ga	4	7	<1	10	5	3	8	8
Ge	<1	13	85	9	1	3	1	1
As	16	15	42	8	5	18	6	5
Se	<1	2	<1	<1	<1	3	1	<1
Rb	47	92	82	192	116	78	130	120
Sr	486	855	228	292	148	236	234	122
Y	6	11	28	14	6	5	6	17
Zr	<1	56	124	73	23	45	36	86
Nb	2	6	<1	7	3	3	3	5
Mo	12	229	1549	144	1	4	1	2
Cd	<1	6	<1	1	<1	3	1	<1
Sn	13	37	27	15	4	123	9	6
Sb	3	37	13	9	4	95	1	3
Cs	2	5	<1	8	3	3	4	4
Ba	255	432	1015	483	513	262	440	414
La	11	18	16	19	20	14	19	67
Ce	20	29	31	40	42	27	37	142
Pr	1	4	<1	4	5	3	4	17
Nd	6	44	14	18	19	14	16	63
Sm	<1	3	<1	4	4	3	3	12
Eu	<1	<1	<1	1	<1	3	1	1
Gd	1.3	2.4	<1	3	3	3	2	10
Tb	<1	<1	<1	<1	<1	3	1	1
Dy	<1	2	<1	3	2	3	1	5
Ho	<1	<1	<1	<1	<1	3	1	1
Er	<1	1	<1	1	1	3	1	2
Tm	<1	<1	<1	<1	<1	3	1	<1
Yb	<1	1	<1	1	<1	3	1	1
Lu	<1	<1	<1	<1	<1	3	1	<1
Hf	<1	2	<1	2	1	3	1	2
Ta	<1	<1	<1	1	1	3	1	2
W	3	4	8	4	2	3	1	2
Tl	<1	<1	<1	<1	1	3	1	1
Pb	65	185	68	84	27	166	249	40
Bi	<1	1	<1	1	<1	3	1	0
Th	<1	5.4	9.3	8	10	5	8	38
U	<1	2.9	<1	2	1	3	1	6

Masa de HAPs depositados

Los resultados de análisis de HAPs muestran que la mayoría de compuestos se encuentran en concentraciones superiores en el CEIP El Quiñón (Tabla 4), sobre todo para Fenantreno (Phe) y Criseno (Cry) que superan las concentraciones del CEIP de referencia de El Viso, de un factor de 16 y 13 en el exterior. Estos compuestos pues presentan un ratio de enriquecimiento de El Quiñón respecto al Miguel Delibes (13-16) del mismo orden que el obtenido para Zn (18). Estos ratios se reducen mucho en el caso del Fenantreno y Criseno en el interior, alcanzando valores de 2 y 3, respectivamente respecto a las aulas del CEIP Miguel Delibes.

Otros compuestos en cargas más elevadas en el CEIP El Quiñón son BbF (Benzo(b)fluoranteno), Fl (fluoreno), BaA (Benzo(a)antraceno), BghiP (Benzo(g,h,i)Perileno), Ind (Indeno(1,2,3-cd)pireno), Pyr (Pireno), BkF (Benzo(k)fluoranteno), BaP (Benzo(a)pireno) pero con ratios claramente más bajos respecto al patio del otro CEIP de referencia: entre 2 y 5 veces mayores en el exterior. Para el interior de las aulas se reduce el número y ratios de HaPs más altos en CEIP El Quiñón, con ratios de 2 a 4 para BaA, BbF, Bghip e Ind.

No se ha encontrado diferencias para Acl (Acenaftileno), Ace(Acenafteno), F (Fluoreno), An (Antraceno), DBA (Dibenzo(a,h)antraceno).

Tabla 4. . Carga de diferentes especies de HAPs depositados, en nanogramos por metro cuadrado de superficie (ng/m²). Sombreado en amarillo se indican los metales con concentraciones ligera o marcadamente superiores en CEIP El Quiñón.

ng/m ²	El Quiñón Interior	El Quiñón Patio	M. Delibes Interior	M. Delibes Patio
Acl	<5	<10	<5	<10
Ace	<0.5	<1	<0.5	<1
F	<0.5	<1	<0.5	<1
Phe	1	25	<0.5	1.6
An	<0.5	1.3	<0.5	<1
Fl	1.4	27	1.75	6.5
Pyr	1.4	64	6.5	24
BaA	1.2	3.6	<0.5	<1
Cry	1.5	13	<0.5	<1
BbF	0.9	4.9	<0.5	<1
BkF	<0.5	1.7	<0.5	<1
BaP	<0.5	1.8	<0.5	<1
DBA	<0.5	<1	<0.5	<1
BghiP	1.8	3.2	<0.5	<1
Ind	1.6	2.8	<0.5	<1

Recomendaciones

Es importante eliminar las cenizas de la zona quemada lo antes posible para evitar que se produzcan emisiones por resuspensión.

Se recomienda lavar patios, caminos, campos de juego y accesos al CEIP El Quiñón repetidamente, al menos 1 vez al día, antes de que accedan los alumnos al colegio). Se recomienda utilizar agua a presión hacia el desagüe. En general sería conveniente hacer esto en toda la población

Asegurarse que hay un sistema de desagüe que deje evacuar el agua del lavado fuera de los patios y campos de juego y no quede encharcada.

Se recomienda lavar con paños húmedos suelos y paredes del interior de las aulas y pasillos.

Se recomienda hacer el seguimiento después de haber hecho el lavado y se hayan secado las superficies y llevar un control semanal o cada 3 días de los niveles de depósito en exterior e interior.

Agradecimientos

Queremos agradecer a Protección Civil de El Viso de San Juan y al personal de la Junta de Castilla La Mancha por el apoyo logístico durante el muestreo.

Referencias

Alier M., van Drooge B.L., Dall'Osto M., Querol X., Grimalt J.O., Tauler R., 2013. "Source apportionment of submicron organic aerosol at an urban background and a road site in Barcelona (Spain) during SAPUSS". *Atmospheric Chemistry & Physics*, 13, 10353-10371.