

**COMPARACIÓN DE NIVELES DE  
HIDROCARBUROS AROMATICOS  
POLICICLICOS (PAHs) EN AIRE AMBIENTE EN  
LA COMUNIDAD AUTONOMA DE ARAGON  
DURANTE LOS PERIODOS  
ESTIVAL E INVERNAL**



**ICB-CSIC**

**OCTUBRE 2009**

**COMPARACIÓN DE NIVELES DE  
HIDROCARBUROS AROMATICOS POLICICLICOS  
(PAHs) EN AIRE AMBIENTE EN LA COMUNIDAD  
AUTONOMA DE ARAGON DURANTE LOS  
PERIODOS ESTIVAL E INVERNAL**

**Promueve y dirige: Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático.  
Departamento de Medio Ambiente**

**Realiza: Grupo de Investigaciones Medioambientales del ICB-CSIC**

**Este proyecto es una de las acciones incluidas en la operación 49, Adaptación y Mitigación frente al Cambio Climático, del Fondo Europeo de Desarrollo Regional para Aragón 2007-2013**

## **INDICE**

<b>1. EVALUACION TEMPORAL DE PM10</b>	<b>pág. 5-7</b>
<b>2. COMPARACION DE BaP EN DISTINTOS PUNTOS DE ARAGÓN PARA LOS PERIODOS DE MUESTREO</b>	<b>pág. 7-15</b>
<b>3. CORRELACION CON VARIABLES METEOROLOGICAS</b>	<b>pág. 15-25</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>pág. 26-28</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>pág. 29</b>
<b>Perfil del personal que ha intervenido en este informe</b>	<b>pág. 30-31</b>

El año 2007 el Grupo de Investigaciones Medioambientales del Instituto de Carboquímica del CSIC (ICB-CSIC), realizó, por encargo de la Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático, un informe con título “Establecimiento de metodología para la ejecución de un estudio de evaluación preliminar de niveles de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos en aire ambiente en la Comunidad Autónoma de Aragón”.

En este informe se establecía de forma razonada la selección de puntos en los que era recomendable medir PAHs en dos campañas (invierno y verano) para realizar una adecuada evaluación preliminar de la concentración de dichos contaminantes en Aragón. Teniendo en cuenta los criterios de la Directiva Europea 2004/107/EC y el RD 812/2007, y considerando el origen tanto biogénico como antropogénico de los PAH, los puntos de muestreo elegidos eran:

- **Punto 1:** Ciudad de Zaragoza por ser la mayor zona y más densa de población donde sus ciudadanos pueden estar directa o indirectamente expuestos a las concentraciones más elevadas como promedio durante un año natural. Además, es representativa de distintas fuentes de emisión urbanas siendo el tráfico la fuente mayoritaria. Este punto será el representativo de fuentes de emisión antropogénicas.
- **Punto 2:** Pirineo como punto representativo de fuentes biogénicas y/o posible transporte de PAH desde otras fuentes de contaminación. Será tomado como referencia de fondo.
- **Punto 3:** Andorra como zona mixta representativa de actividad industrial relacionada con centrales térmicas así como de otras fuentes relacionadas con la agricultura. Este punto será representativo de distintas fuentes de emisión predominando la fuente industrial.

El Grupo de Investigaciones Medioambientales del ICB-CSIC realizó las campañas de medida de PAHs de verano e invierno y, en función de los resultados obtenidos se redacta este informe, cofinanciado con fondos FEDER y realizado para la **Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Dpto. Medio Ambiente del Gobierno de Aragón. En él se pretende comparar los datos más notables reportados en los informes sobre el “Estudio de evaluación preliminar de niveles de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (PAHs) en aire ambiente en la Comunidad Autónoma de Aragón durante los periodos estival e invernal”, en el que se llevaron**

a cabo dos muestreos intensivos durante el verano del 2008 y el invierno del 2009, respectivamente en cuatro puntos de Aragón:

- **ciudad de Zaragoza, ZGZ**
- **Torrelisa (Huesca), TOR**
- **Monagrega (Teruel) MNG y**
- **Monzón (Huesca) MON.**

La legislación Europea a través de la Directiva 2003/87/CE, transpuesta por la Ley 1/2005, regula las emisiones de gases efecto invernadero, en particular el CO<sub>2</sub>, del sector industrial más relevante en cuanto a sus emisiones. Sin embargo, el sector difuso en el que se contabilizan las emisiones de gases efecto invernadero de actividades como la ganadería, el transporte, la agricultura o el sector residencial, no está regulado en la actualidad. Esto es muy significativo en tanto que se estima que en la Comunidad Autónoma de Aragón las emisiones de gases efecto invernadero provenientes del sector no regulado alcanza el entorno del 50% de las totales. Las actividades de combustión del sector residencial (calderas, chimeneas, etc) y del tráfico, además de emisiones de CO<sub>2</sub>, liberan otras especies que, al margen de un probado efecto climático, tienen un impacto adverso sobre la salud. En concreto, los PAHs y el material particulado atmosférico en suspensión se encuentran entre dichos compuestos.

Además, este estudio aborda, entre otros aspectos, la relación entre parámetros meteorológicos y la concentración de PM<sub>10</sub> y PAHs. Como se verá, la influencia de algunos de esos parámetros como la humedad relativa es decisiva para modificar la concentración de esos contaminantes y también su efecto climático. Existen situaciones meteorológicas como las anticiclónicas de invierno que conllevan la formación de nieblas en las que disminuye la radiación solar y aumenta drásticamente la humedad relativa. En circunstancias de ese tipo, la concentración de contaminantes puede variar alcanzando niveles más perjudiciales para la salud. Así pues, los resultados de este estudio pueden servir para evaluar la influencia sobre los niveles de PAHs de un eventual aumento en la frecuencia de ocurrencia de determinadas situaciones meteorológicas causadas por diferentes tendencias climáticas, que pueden ser utilizadas para el diseño de estrategias de adaptación..

Por último, existen importantes interacciones químicas entre los PAHs y el ozono (O<sub>3</sub>), un gas contaminante que, especialmente en presencia de vapor de agua, también tiene un importante efecto climático. En consecuencia, la determinación de los niveles en aire

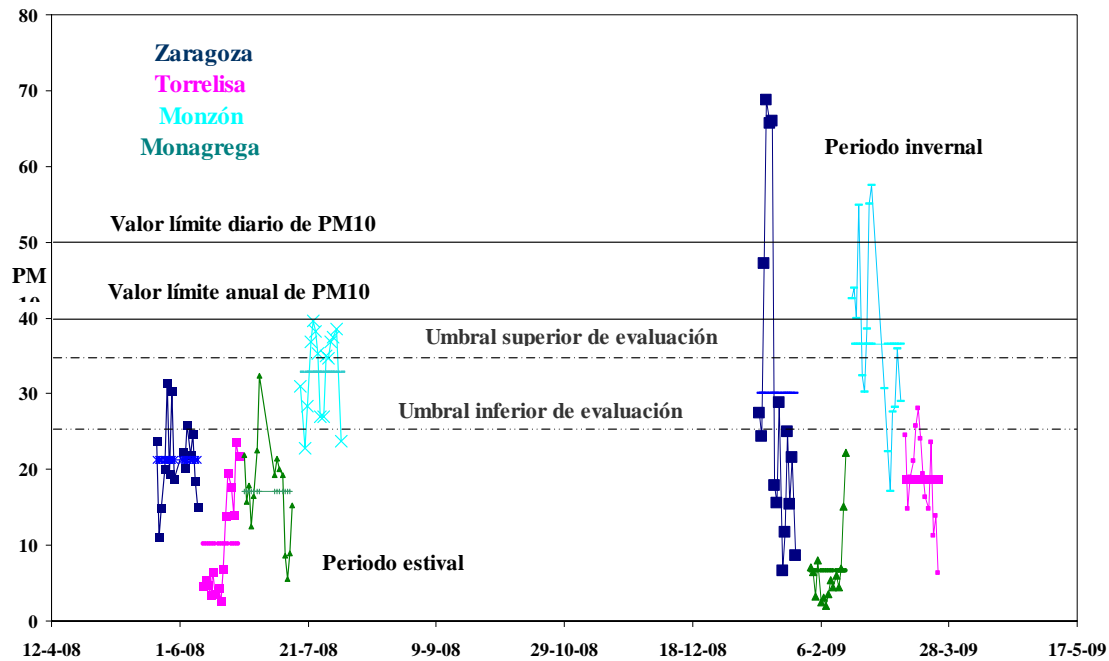
ambiente de PAHs pueden ayudar a explicar el comportamiento del O<sub>3</sub> y así, evaluar la influencia climática de este contaminante.

## 1. EVALUACION TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE PM10

En la Figura 1 se muestra una representación de las **variaciones temporales de PM10** para cada uno de los puntos de muestreo durante **las dos épocas del año, estival e invernal**, en las que se realizaron los muestreos. Aparecen reflejados tanto los valores diarios de PM10 como los valores medios de cada campaña para los cuatro puntos de muestreo junto con los valores límite diarios y anuales de PM10 según Directiva 2008/50/EC.

Para la **época estival** las concentraciones de PM10 siguieron el siguiente orden decreciente: **Monzón>Zaragoza>Monagrega>Torrelisa** mientras que para la **época invernal** el orden fue el siguiente: **Monzón>Zaragoza>Torrelisa>Monagrega** para el periodo invernal.

En **ambos periodos de muestreo** las **mayores concentraciones de PM10** se obtuvieron para **Monzón seguido de Zaragoza**. Tanto para **Monzón, Zaragoza y Torrelisa** dichas concentraciones de PM10 fueron mayores durante la **época de invierno** mientras que en **Monagrega** las mayores concentraciones de PM10 se obtuvieron para la **etapa estival**. Este perfil de concentraciones mayores en otoño e invierno relacionados con emisiones antropogénicas y obtenido en Zaragoza y Monzón corresponde a un perfil de estaciones típicas urbanas (Artiñano et al., 2001). Hay que señalar que en muestreos anteriores realizados en Zaragoza por este grupo de trabajo (López et al., 2003; López et al., 2005; de la Cruz, 2008), se encontraron mayores concentraciones de PM10 en el periodo cálido debido en parte a procesos de intrusión africana y a situaciones en las que procesos de resuspensión, junto con las bajas precipitaciones y mayor índice de radiación solar favorecían la acumulación de materia particulada. Por el contrario, para Monagrega el máximo estival en la PM10 se ha puesto de manifiesto en otras publicaciones (Rodríguez González, 2002) y se debe a un máximo de resuspensión de materia mineral en época cálida.



**Figura 1.** Series temporales de concentración de PM10 en Zaragoza, Torrelisa, Monagrega y Monzón para cada uno de los días de muestreo en los dos periodos muestreados.

En la Tabla 1 se muestran los valores medios de la concentración de PM10 para cada punto de muestreo y para los dos periodos del año. También se dan porcentajes de superaciones del **valor límite diario** ( $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y **anual** ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de PM10 así como de los **umbrales superior** ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) e **inferior** ( $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) de evaluación de PM10 de acuerdo con la **Directiva 2008/50/EC**.

Para la **etapa invernal**, tanto la concentración media de **PM10 en Monzón como Zaragoza superaron el valor umbral inferior de evaluación de PM10** mientras que **Monzón superó también el valor umbral superior de evaluación de PM10**. Resaltar que en el periodo invernal del muestreo realizado en Zaragoza, los días 16-18 de enero coincidieron con la celebración de San Antón en la que se realizan en pueblos colindantes la quema de hogueras y que implicaron un incremento en la concentración de PM10.

En el **periodo estival**, sólo la concentración media de PM10 de **Monzón superó el valor umbral inferior de evaluación de PM10**.

**Tabla 1.** Porcentaje de excedencias y número de excedencias entre paréntesis de los valores límite diario, anual, umbral inferior e superior de evaluación de PM10 en los cuatro puntos de muestreo para los dos periodos de muestreo así como valor medio de PM10 expresado en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

	<b>ZGZ</b>		<b>PIR</b>		<b>MNG</b>		<b>MON</b>	
	<b>Estiv.</b>	<b>Inver.</b>	<b>Estiv.</b>	<b>Inver.</b>	<b>Estiv.</b>	<b>Inver.</b>	<b>Estiv.</b>	<b>Inver.</b>
<b>Valor límite diario de PM10</b>	0	20(3)	0	0	0	0	0	19(3)
<b>Valor límite anual de PM10</b>	0	27(4)	0	0	0	0	7(1)	38(6)
<b>Umbral superior de evaluación</b>	0	27(4)	0	0		0	60	50(8)
<b>Umbral inferior de evaluación</b>	27(4)	40(6)	0	14(2)	1	0	87(13)	87
<b>Valor medio PM10</b>	21	30	10	19	17	7	33	37

## **2. COMPARACION DE BENZO(a)PIRENO EN DISTINTOS PUNTOS DE ARAGÓN PARA LOS PERIODOS DE MUESTREO**

En las Tablas 2-5 se muestran los resultados obtenidos para las concentraciones de BaP para los cuatro puntos de muestreo en los dos periodos muestreados.



**Tabla 2.** Fecha, referencia y concentración de BaP (ng/m<sup>3</sup>) para las muestras tomadas en Zaragoza durante los dos periodos de muestreo.

<b>ZGZ Periodo estival</b>			<b>ZGZ Periodo inveral</b>		
<b>Fecha</b>	<b>Referencia</b>	<b>BaP (ng/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Fecha</b>	<b>Referencia</b>	<b>BaP (ng/m<sup>3</sup>)</b>
23-05-08	ZGZ01	0.102	13-01-09	ZGZ17	0.340
24-05-08	ZGZ02	0.035	14-01-09	ZGZ18	0.570
25-05-08	ZGZ03	0.073	15-01-09	ZGZ19	0.978
26-05-08	ZGZ04	0.064	16-01-09	ZGZ20	1.657
27-05-08	ZGZ05	0.226	17-01-09	ZGZ21	0.936
28-05-08	ZGZ06	0.034	18-01-09	ZGZ22	1.152
29-05-08	ZGZ07	0.301	19-01-09	ZGZ23	0.234
30-05-08	ZGZ08	0.068	20-01-09	ZGZ24	0.272
02-06-08	ZGZ10	0.108	21-01-09	ZGZ25	0.243
03-06-08	ZGZ11	0.040	22-01-09	ZGZ26	0.199
04-06-08	ZGZ12	0.076	23-01-09	ZGZ27	0.065
05-06-08	ZGZ13	0.056	24-01-09	ZGZ28	0.077
06-06-08	ZGZ14	0.043	25-01-09	ZGZ29	0.210
07-06-08	ZGZ15	0.047	26-01-09	ZGZ30	0.073
08-06-08	ZGZ16	0.064	27-01-09	ZGZ31	0.165
Media		0.089			0.478

**Tabla 3.** Fecha, referencia y concentración de BaP (ng/m<sup>3</sup>) para las muestras tomadas en Torrelisa durante los dos periodos de muestreo.

PIR Periodo estival			PIR Periodo invernal		
Fecha	Referencia	BaP (ng/m <sup>3</sup> )	Fecha	Referencia	BaP (ng/m <sup>3</sup> )
10-06-08	PIR01	0.074	11-03-09	PIR16	0.033
11-06-08	PIR02	<l.d.	12-03-09	PIR17	0.055
12-06-08	PIR03	<l.d.	13-03-09	PIR18	0.023
13-06-08	PIR04	<l.d.	14-03-09	PIR19	<l.d.
14-06-08	PIR05	<l.d.	15-03-09	PIR20	<l.d.
15-06-08	PIR06	<l.d.	16-03-09	PIR21	<l.d.
16-06-08	PIR07	<l.d.	17-03-09	PIR22	<l.d.
17-06-08	PIR08	<l.d.	18-03-09	PIR23	0.020
18-06-08	PIR09	<l.d.	19-03-09	PIR24	0.020
19-06-08	PIR10	0.017	20-03-09	PIR25	0.036
20-06-08	PIR11	<l.d.	21-03-09	PIR26	0.029
21-06-08	PIR12	<l.d.	22-03-09	PIR27	0.027
22-06-08	PIR13	<l.d.	23-03-09	PIR28	0.032
23-06-08	PIR14	0.044	24-03-09	PIR29	<l.d.
24-06-08	PIR15	0.021			
Media		0.013			0.0045

**Tabla 4.** Fecha, referencia y concentración de BaP (ng/m<sup>3</sup>) para las muestras tomadas en Monagrega durante los dos periodos de muestreo.

MNG Periodo estival			MNG Periodo invernal		
Fecha	Referencia	BaP (ng/m <sup>3</sup> )	Fecha	Referencia	BaP (ng/m <sup>3</sup> )
26-06-08	MNG01	<l.q.	02-02-09	MNG16	0.041
27-06-08	MNG02	<l.q.	03-02-09	MNG17	0.085
28-06-08	MNG03	<l.q.	04-02-09	MNG18	0.035
29-06-08	MNG04	<l.q.	05-02-09	MNG19	0.053
30-06-08	MNG05	<l.q.	06-02-09	MNG20	0.037
01-07-08	MNG06	0.035	07-02-09	MNG21	0.035
02-07-08	MNG07	0.073	08-02-09	MNG22	<l.q.
08-07-08	MNG08	<l.q.	09-02-09	MNG23	<l.q.
09-07-08	MNG09	<l.q.	10-02-09	MNG24	0.057
10-07-08	MNG10	<l.q.	11-02-09	MNG25	<l.q.
11-07-08	MNG11	<l.q.	12-02-09	MNG26	0.047
12-07-08	MNG12	<l.q.	13-02-09	MNG27	0.065
13-07-08	MNG13	<l.q.	14-02-09	MNG28	0.057
14-07-08	MNG14	<l.q.	15-02-09	MNG29	0.035
15-07-08	MNG15	<l.q.	16-02-09	MNG30	0.070
Media		0.024			0.046

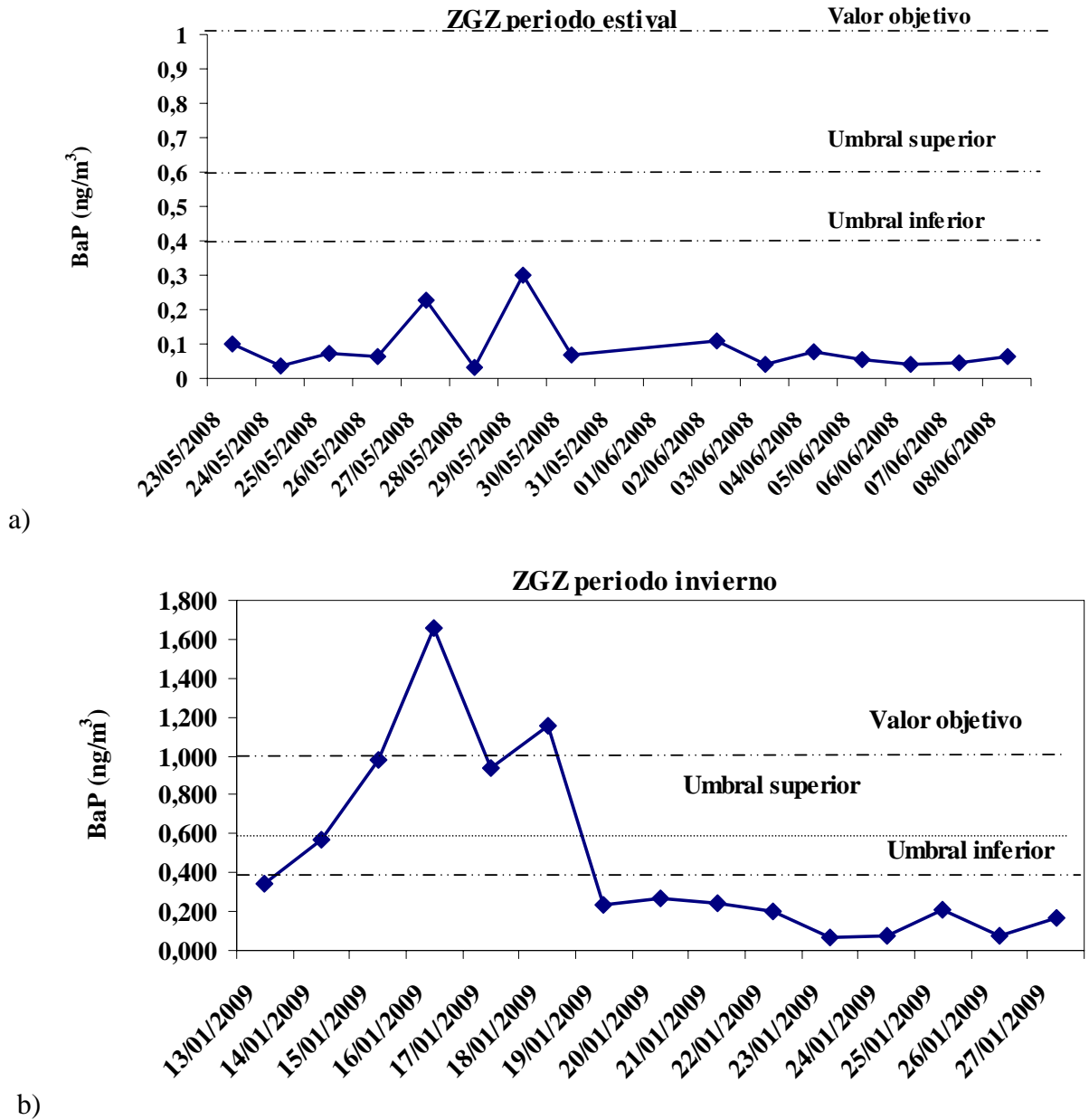
**Tabla 5.** Fecha, referencia y concentración de BaP ( $\text{ng/m}^3$ ) para las muestras tomadas en Monzón durante los dos periodos de muestreo.

MON Periodo estival			MON Periodo invernial		
Fecha	Referencia	BaP ( $\text{ng/m}^3$ )	Fecha	Referencia	BaP ( $\text{ng/m}^3$ )
18-07-08	MON01	0.049	18-02-09	MON19	0.250
20-07-08	MON03	0.054	19-02-09	MON20	0.314
21-07-08	MON04	0.042	20-02-09	MON21	0.250
22-07-08	MON05	0.041	21-02-09	MON22	0.226
23-07-08	MON06	0.079	22-02-09	MON23	0.189
24-07-08	MON07	0.036	23-02-09	MON24	0.172
25-07-08	MON08	0.063	24-02-09	MON25	0.304
26-07-08	MON09	0.034	25-02-09	MON26	0.295
27-07-08	MON10	0.018	26-02-09	MON27	0.345
28-07-08	MON11	0.050	03-03-09	MON29	0.323
29-07-08	MON12	0.090	04-03-09	MON30	0.184
30-07-08	MON13	0.051	05-03-09	MON31	0.180
31-07-08	MON14	0.047	06-03-09	MON32	0.212
01-08-08	MON15	0.057	07-03-09	MON33	0.103
03-08-08	MON18	0.033	08-03-09	MON34	0.094
Media		0.050			0.229

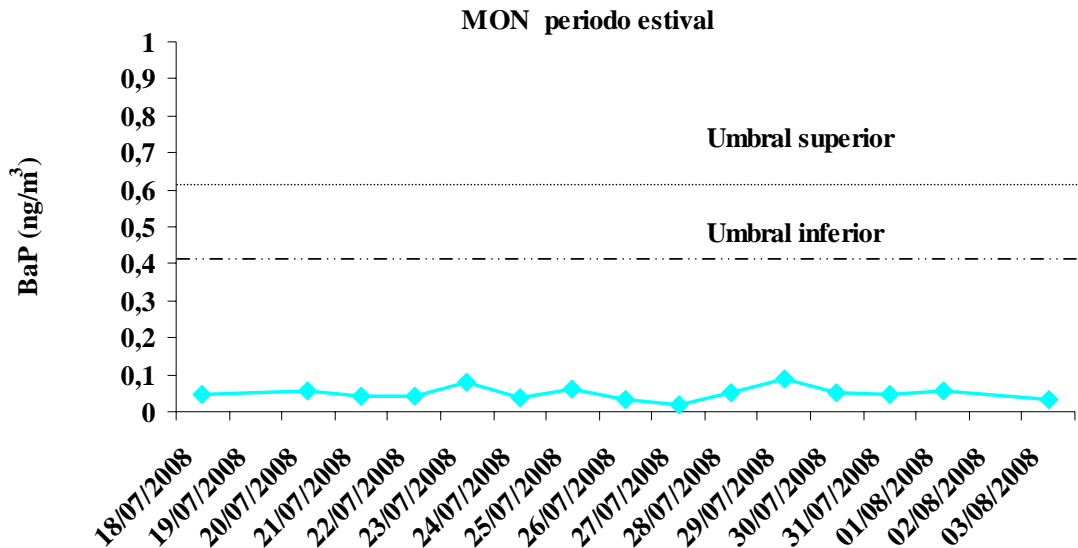
De los cuatro puntos muestreados, Zaragoza fue el lugar donde se detectaron las mayores concentraciones de BaP tanto en el periodo estival como invernial (Tabla 2)(Figure 2). Hay que destacar que en Zaragoza **se superó el valor objetivo anual de BaP de  $1.0 \text{ ng/m}^3$**  establecido por la **Directiva 2004/107/EC en dos ocasiones** en la época invernial (13%), así como los **umbrales superior e inferior de evaluación** establecidos por dicha directiva para el BaP que son  **$0.6 \text{ ng/m}^3$**  (60% del valor objetivo) y  **$0.4 \text{ ng/m}^3$**  (40% del valor objetivo) **en 4 (27%) y 5 ocasiones (33%)**, respectivamente. Hay que resaltar también que durante los días 16-18 de enero del 2009 se celebró la festividad de San Antón en la que se queman diversas hogueras y que coincidió con un aumento considerable de PM10 durante esas fechas así como de un aumento en la concentración de BaP.

De acuerdo a estos resultados, y teniendo en cuenta lo que establece el RD 812/2007 en sus anexos II, III y IV, no sería necesario establecer medidas fijas o indicativas en ninguno de los cuatro puntos seleccionados ya que el promedio de ambas campañas no alcanza el umbral inferior de evaluación para el BaP ( $0.4 \text{ ng/m}^3$ ) en ninguno de esos puntos. Sólo en Zaragoza se supera el citado umbral exclusivamente para la campaña de invierno. Esto quiere decir que la evaluación de calidad del aire con respecto a este contaminante se podría realizar con métodos de modelización o estimativos.

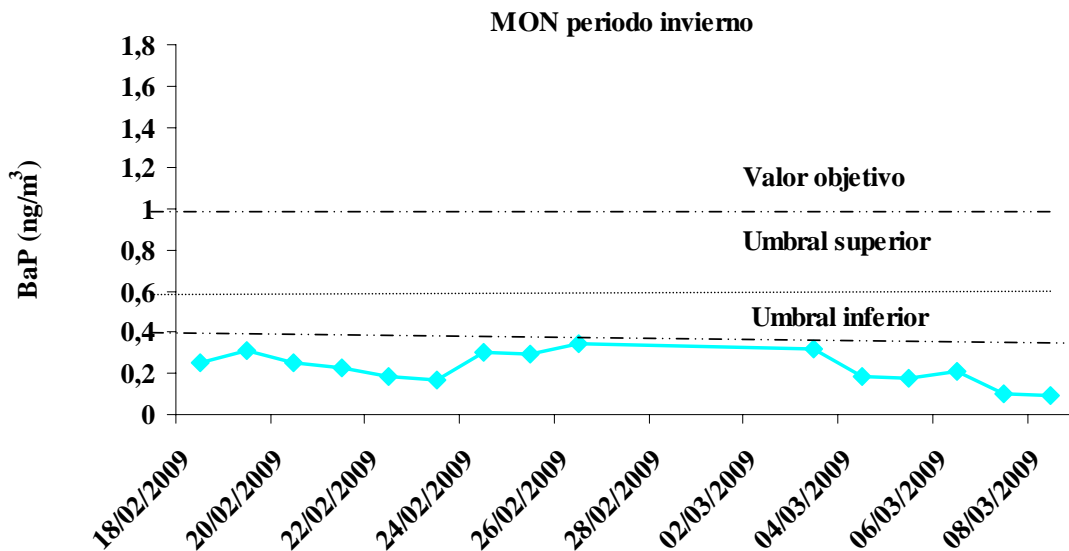
Sin embargo dados los niveles obtenidos a lo largo de la campaña invernal se considera recomendable continuar midiendo BaP en la ciudad de Zaragoza donde se han registrado los niveles más altos para controlar la evolución de dichos niveles. En este sentido se recomienda establecer un protocolo de mediciones indicativas en Zaragoza. En el RD 812/2007 se establece que la cobertura mínima temporal de las mediciones indicativas de BaP es del 14%, lo que supone un total de 52 días al año, que deberían ser distribuidas homogéneamente a lo largo del año.



**Figura 2** Representación de la concentración de BaP para Zaragoza en los periodos de muestreo a) estival (2008) y b) invernal (2009).



a)



b)

**Figura 3** Representación de la concentración de BaP para Monzón en los periodos de muestreo a) estival (2008) y b) invernal (2009).

Tanto para **Torrelisa como para Monagrega** durante los **dos periodos de muestreo** las concentraciones de **BaP fueron menores que el límite de detección y/o cuantificación en la mayoría de las muestras**. Estas mínimas concentraciones son esperables teniendo en cuenta que Torrelisa es una zona del Pirineo en el que apenas hay contribución de fuentes locales antropogénicas y Monagrega es una estación de fondo regional aunque sí que podrían verse influenciadas por el transporte a larga distancia.

Finalmente el último punto de muestreo, **Monzón**, al igual que Zaragoza, también presentó concentraciones de **BaP superiores al límite de cuantificación para todas las fechas muestreadas** (Tabla 5). En **ningún caso se superó el valor objetivo de 1.0 ng/m<sup>3</sup> ni los valores umbral superior e inferior de evaluación de BaP.**

Tanto **Zaragoza como Monzón** mostraron **perfiles típicos de zonas urbanas** en los que la **concentración de PAH**, en este caso, **BaP aumentaba durante el invierno** siendo las **actividades de carácter antropogénico** (industria, tráfico, calefacción doméstica, etc) y fundamentalmente de **tipo local las responsables de la mayor parte de las concentraciones de este contaminante.**

### 3. CORRELACIÓN CON VARIABLES METEOROLÓGICAS

En las Tablas 6-9 se muestran los valores de estadística descriptiva de cada variable para cada estación muestreada y para los dos periodos de muestreo.

**Tabla 6** Estadística descriptiva para el muestreo realizado en Zaragoza durante los dos periodos.

	Estación	N	Media	Desviación estándar	Std. Error Mean
Lluvia	Verano	15	4,09	7,14	1,84
	Invierno	15	0,773	1,29	0,334
Temperatura	Verano	15	16,63	1,01	0,261
	Invierno	15	5,38	2,99	0,773
Humedad Relativa*	Verano	15	68,97	9,19	2,37
	Invierno	15	79,62	8,88	2,29
Radiación media	Verano	15	268,30	60,23	15,55
	Invierno	15	87,39	14,64	3,78
Velocidad viento	Verano	15	3,23	1,87	0,484
	Invierno	15	3,44	1,84	0,475
Dirección viento	Verano	15	215,17	88,28	22,80
	Invierno	15	227,51	82,31	21,25
PM10	Verano	15	21,22	5,55	1,433
	Invierno	15	30,06	21,38	5,522
BaP	Verano	15	0,089	0,0754	0,0195
	Invierno	14	0,50	,491	0,131



**Tabla 7** Estadística descriptiva para el muestreo realizado en Torrelisa durante los dos periodos.

	Season	N	Mean	Desviación estándar	Std. Error Mean
Lluvia	1,00	15	0,118	0,271	0,070
	2,00	13	0,005	0,019	0,0054
Temperatura	1,00	15	16,497	4,053	1,046
	2,00	13	9,195	2,639	0,732
Humedad Relativa	1,00	15	61,358	17,968	4,639
	2,00	13	64,514	11,719	3,250
Radiación media	1,00	15	305,004	109,409	28,25
	2,00	13	232,749	52,274	14,50
Velocidad viento	1,00	15	0,911	0,192	0,0497
	2,00	13	1,180	0,411	0,114
PM10	1,00	15	10,178	7,413	1,914
	2,00	13	19,359	6,014	1,668
BaP	1,00	15	0,0099	0,0209	0,0054
	2,00	13	0,0196	0,0173	0,0048

**Tabla 8** Estadística descriptiva para el muestreo realizado en Monagrega durante los dos periodos.

	Estación	N	Media	Desviación estándar	Std. Error Mean
Lluvia	Verano	15	0,480	0,835	0,2155
	Invierno	15	0,360	1,367	0,353
Temperatura	Verano	15	26,27	4,412	1,139
	Invierno	15	4,853	2,267	0,585
Humedad Relativa	Verano	15	61,905	12,607	3,255
	Invierno	15	77,401	10,468	2,703
Radiación UV	Verano	15	0,365	0,0630	0,0163
	Invierno	15	0,135	0,0304	0,0079
Velocidad viento	Verano	15	2,135	0,501	0,1293
	Invierno	15	5,510	2,936	0,758
Presión	Verano	15	712,94	3,209	0,829
	Invierno	15	705,76	8,70	2,246
PM10	Verano	15	17,18	6,683	1,726
	Invierno	15	6,70	5,355	1,383
BaP	Verano	15	0,024	0,0145	0,0037
	Invierno	15	0,046	0,0180	0,0046

**Tabla 9** Estadística descriptiva para el muestreo realizado en Monzón durante los dos periodos.

	Estación	N	Media	Desviación estándar	Std. Error Mean
Presión	Verano	15	968,28	2,358	0,6089
	Invierno	16	969,13	10,402	2,600
Temperatura	Verano	15	25,77	1,908	0,4926
	Invierno	16	7,980	1,640	0,4100
Humedad Relativa	Verano	15	57,333	7,370	1,903
	Invierno	16	67,085	7,412	1,853
Radiación media	Verano	15	295,32	36,65	9,462
	Invierno	16	171,099	53,079	13,270
Velocidad viento	Verano	15	3,640	0,8201	0,2117
	Invierno	16	4,861	5,214	1,303
PM10	Verano	15	32,80	5,609	1,448
	Invierno	16	36,59	11,835	2,959
BaP	Verano	15	0,0496	0,0181	0,0047
	Invierno	16	0,2234	0,0786	0,0196
Radiación UV	Verano	15	0,6377	0,0954	0,0246
	Invierno	16	0,2431	0,0648	0,0162

Con el fin de determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos periodos de muestreo, verano e invierno, para los dos contaminantes analizados PM10 y BaP, se realizaron pruebas t de Student de muestras independientes para cada uno de los cuatro puntos muestreados (Tabla 10).

La aplicación de un t-test con varianzas iguales determinó que había **diferencias estadísticamente significativas (95% nivel de confianza) para la PM10 de Torrelisa y Monagrega para los dos periodos muestreados**. Aunque para **Monagrega** además se encontraron **diferencias estadísticamente significativas** para los dos periodos para el **BaP**, hay que señalar que en el periodo de verano la mayor parte de las concentraciones de BaP fueron inferiores al límite de cuantificación y que por tanto no puede considerarse este significado estadístico. De cualquier modo, sí se observa un aumento en la concentración de BaP durante la época fría. Tanto Zaragoza como Monzón no cumplieron las reglas de igualdad de varianza (test de Levene) para la PM10 y concentración de BaP. En cualquier caso y con varianzas diferentes, el test demostró que para **Zaragoza y Monzón, las concentraciones de BaP fueron estadísticamente diferentes para los dos periodos de muestreo** indicando que las fuentes que producían

estos contaminantes mostraban variaciones estacionales o seguían distintas pautas durante los dos periodos. Esto puede deberse a diversas razones. Mientras que las fuentes antropogénicas relacionadas con las actividades industriales y/o tráfico parecen tener menos variaciones durante todo el año, las emisiones de calefacción se suman en invierno aumentando de este modo las emisiones debidas a procesos de combustión y por tanto, la concentración de BaP. Por otro lado, las **condiciones atmosféricas son diferentes en invierno y verano** y esto puede favorecer las mayores concentraciones de contaminantes debido a:

- menor temperatura durante el invierno que favorece la condensación del contaminante y su adsorción a las partículas en suspensión
- menor radiación solar, temperatura y concentración de ozono durante el invierno que evitan la reacción y desaparición del contaminante
- menor capacidad dispersiva de la atmósfera por convección en invierno ya que la capa de mezcla es menor que en verano.

Posteriormente, se estudiaron las **correlaciones de Pearson entre las variables meteorológicas y la concentración de BaP y PM10** para todas las muestras tomadas en los dos periodos de muestreo para cada lugar de muestreo (Tablas 11-14).

Tanto para **Zaragoza como para Monzón**, los dos puntos muestreados en el que se obtuvieron las mayores concentraciones de BaP, se encontró una **correlación estadísticamente significativa al 99% entre el BaP y la PM10**. De este modo, el aumento de materia particulada recogida suponía un aumento en el poder carcinogénico de dicha materia particulada basada en la concentración de BaP.

Para **Zaragoza y considerando la PM10 y el BaP**, las condiciones meteorológicas que favorecían la acumulación de estos dos contaminantes son **el aumento de la humedad relativa junto con vientos flojos y temperaturas bajas. Para el BaP además de estas condiciones, el aumento de la radiación solar disminuía la concentración de este compuesto debido al efecto de fotodegradación**. De este modo, los meses de invierno en los que disminuye el número de horas de radiación solar suponen un incremento en la concentración de PM10 y BaP. Además la humedad alta, propia de los días de niebla, junto con condiciones de vientos calmados propician también la acumulación de estos contaminantes y en definitiva son las condiciones atmosféricas más peligrosas para la

salud humana en las que deberíamos evitar la exposición a la contaminación atmosférica.

Para **Monzón** y considerando la concentración de **BaP**, las mismas condiciones meteorológicas anteriormente nombradas para **Zaragoza** favorecían la **acumulación de BaP**. Además el aumento de la radiación ultravioleta influía disminuyendo la concentración de este contaminante.

Para **Monzón** respecto a la **PM10**, se observó un **efecto negativo en la concentración de PM10 con vientos fuertes y un aumento con la presión atmosférica**.

Tanto **Torrelisa** como **Monagrega** mostraron **concentraciones mínimas de BaP** y puesto que las concentraciones obtenidas son en muchos de los días muestreados inferiores al límite de cuantificación y/o detección, estas correlaciones para **BaP** no tienen significado estadístico.

Lo anterior implica que situaciones de estancamiento que se producen en época invernal y en las que se eleva la humedad relativa por la existencia de nieblas son las situaciones ideales para la proliferación de **PM10** y **BaP** en zonas urbanas como **Zaragoza** y **Monzón**. De la misma forma las situaciones advectivas en las que se produce dispersión de contaminantes resultan en disminución de los niveles de **PAHs** y **PM10**. Dicho de otra forma, la concentración promedio anual de **PAHs** y **PM10** en las zonas urbanas pueden diferir en función de la frecuencia de ocurrencia de estas situaciones de alta estabilidad atmosférica invernales y que un aumento a medio plazo en dicha frecuencia resultaría en una superior exposición de los ciudadanos a dichos contaminantes.

Respecto a la **PM10**, para **Torrelisa** se encontró **una correlación negativa** estadísticamente significativa con **la lluvia**. Para **Monagrega** y respecto a esta variable, se observó **distinta influencia de la variable meteorológica temperatura y humedad relativa a la encontrada en Zaragoza de tal forma que se favorecía la acumulación de PM10 con condiciones de alta temperatura y alta radiación ultravioleta y con baja humedad relativa**. En este caso condiciones típicas de verano y de sequía favorecen la acumulación de **PM10** en dicha localidad. La **influencia de los fuertes vientos tenía el mismo efecto que el encontrado en Zaragoza y Monzón diluyendo la concentración de PM10**.

**Tabla 10** Test t (muestras independientes) para las variables PM10 y BaP para los dos periodos muestreados para cada uno de los cuatro puntos muestreados.

		Test de Levene para igualdad de varianzas		Test t para igualdad de medias						
		F	Sig.	t	df	Sig. (bilateral)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Upper	Lower
<b>PM10 ZGZ</b>	Varianzas iguales asumidas	15,255	0,001	-1,548	28	0,133	-8,83333	5,70457	-20,51861	2,85194
	Varianzas iguales no asumidas			-1,548	15,878	0,141	-8,83333	5,70457	-20,93404	3,26738
<b>BaP ZGZ</b>	Varianzas iguales asumidas	25,186	0,000	-3,203	27	0,003	-0,41058	0,12818	-0,67358	-0,14758
	Varianzas iguales no asumidas			-3,096	13,573	0,008	-0,41058	0,13264	-0,69590	-0,12527
<b>PM10 TOR</b>	Varianzas iguales asumidas	2,259	0,145	-3,562	26	0,001	-9,18225	2,57781	-14,48102	-3,88349
	Varianzas iguales no asumidas			-3,617	25,907	0,001	-9,18225	2,53871	-14,40156	-3,96295
<b>BaP TOR</b>	Varianzas iguales asumidas	0,017	0,898	-1,329	26	0,195	-0,009721	0,007315	-0,024756	0,005315
	Varianzas iguales no asumidas			-1,347	25,962	0,190	-0,009721	0,007215	-0,024553	0,005112

		Test de Levene para igualdad de varianzas		Test t para igualdad de medias						
		F	Sig.	t	df	Sig. (bilateral)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Upper	Lower
PM10 MNG	Varianzas iguales asumidas	1,012	0,323	4,738	28	0,000	10,47697	2,21126	5,94742	15,00653
	Varianzas iguales no asumidas			4,738	26,729	0,000	10,47697	2,21126	5,93770	15,01625
BaP MNG	Varianzas iguales asumidas	2,646	0,115	-3,679	28	0,001	-0,021979	0,005974	-0,034216	-0,009742
	Varianzas iguales no asumidas			-3,679	26,776	0,001	-0,021979	0,005974	-0,034242	-0,009717
PM10 MON	Varianzas iguales asumidas	6,542	0,016	-1,127	29	0,269	-3,79063	3,36438	-10,67155	3,09030
	Varianzas iguales no asumidas			-1,151	21,713	0,262	-3,79063	3,29407	-10,62736	3,04611
BaP MON	Varianzas iguales asumidas	22,339	0,000	-8,356	29	0,000	-0,173838	0,020805	-0,216388	-0,131287
	Varianzas iguales no asumidas			-8,610	16,692	0,000	-0,173838	0,020190	-0,216495	-0,131180

**Tabla 11** Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables meteorológicas, la PM10 y BaP para el total de muestras tomadas en Zaragoza (incluyen muestras tomadas en invierno y verano).

		Lluvia	Temperatura	Humedad Relativa	Radiación media	Velocidad viento	PM10	BaP
<b>Lluvia</b>	Pearson Correlation	1	,290	,176	,070	-,303	-,122	-,191
	Sig. (bilateral)		,120	,351	,715	,103	,522	,311
<b>Temperatura</b>	Pearson Correlation		1	<b>-,660(**)</b>	<b>,869(**)</b>	,149	<b>-,452(*)</b>	<b>-,661(**)</b>
	Sig. (bilateral)			,000	,000	,431	,012	,000
<b>Humedad Relativa</b>	Pearson Correlation			1	<b>-,707(**)</b>	<b>-,681(**)</b>	<b>,507(**)</b>	<b>,668(**)</b>
	Sig. (bilateral)				,000	,000	,004	,000
<b>Radiación media</b>	Pearson Correlation				1	,170	-,237	<b>-,462(*)</b>
	Sig. (bilateral)					,370	,207	,010
<b>Velocidad viento</b>	Pearson Correlation					1	<b>-,365(*)</b>	<b>-,424(*)</b>
	Sig. (bilateral)						,047	,020
<b>PM10</b>	Pearson Correlation						1	<b>,887(**)</b>
	Sig. (bilateral)							,000
<b>BaP</b>	Pearson Correlation							1
	Sig. (bilateral)							

\* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

**Tabla 12** Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables meteorológicas, la PM10 y BaP para el total de muestras tomadas en Torrelisa (incluyen muestras tomadas en invierno y verano).

		Lluvia	Temperatura	Humedad Relativa	Radiación media	Velocidad viento	PM10	BaP
<b>Lluvia</b>	Pearson Correlation	1	-,119	<b>,616(**)</b>	<b>-,504(**)</b>	-,283	<b>-,386(*)</b>	<b>,575(**)</b>
	Sig. (bilateral)		,546	,000	,006	,144	,043	,001
<b>Temperatura</b>	Pearson Correlation		1	<b>-,593(**)</b>	<b>,750(**)</b>	-,137	-,042	-,364
	Sig. (bilateral)			,001	,000	,487	,832	,057
<b>Humedad Relativa</b>	Pearson Correlation			1	<b>-,843(**)</b>	-,364	-,183	<b>,443(*)</b>
	Sig. (bilateral)				,000	,057	,351	,018
<b>Radiación media</b>	Pearson Correlation				1	,183	,099	<b>-,458(*)</b>
	Sig. (bilateral)					,352	,618	,014
<b>Velocidad viento</b>	Pearson Correlation					1	,089	-,030
	Sig. (bilateral)						,654	,881
<b>PM10</b>	Pearson Correlation						1	-,007
	Sig. (bilateral)							,973
<b>BaP</b>	Pearson Correlation							1
	Sig. (bilateral)							

\* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).



**Tabla 13** Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables meteorológicas, la PM10 y BaP para el total de muestras tomadas en Monagrega (incluyen muestras tomadas en invierno y verano).

		Lluvia	Temperatura	Humedad Relativa	Radiación UV	Velocidad viento	Presión	PM10	BaP
<b>Lluvia</b>	Pearson Correlation	1	,055	,096	-,045	,148	,024	-,136	-,258
	Sig. (bilateral)		,774	,615	,812	,434	,901	,473	,168
<b>Temperatura</b>	Pearson Correlation		1	<b>-,662(**)</b>	<b>,921(**)</b>	<b>-,600(**)</b>	<b>,551(**)</b>	<b>,614(**)</b>	<b>-,567(**)</b>
	Sig. (bilateral)			,000	,000	,000	,002	,000	,001
<b>Humedad Relativa</b>	Pearson Correlation			1	<b>-,767(**)</b>	,302	<b>-,540(**)</b>	<b>-,550(**)</b>	,104
	Sig. (bilateral)				,000	,104	,002	,002	,585
<b>Radiación UV</b>	Pearson Correlation				1	<b>-,597(**)</b>	<b>,539(**)</b>	<b>,722(**)</b>	<b>-,369(*)</b>
	Sig. (bilateral)					,000	,002	,000	,045
<b>Velocidad viento</b>	Pearson Correlation					1	-,223	<b>-,645(**)</b>	,130
	Sig. (bilateral)						,237	,000	,494
<b>Presión</b>	Pearson Correlation						1	<b>,377(*)</b>	<b>-,367(*)</b>
	Sig. (bilateral)							,040	,046
<b>PM10</b>	Pearson Correlation							1	-,037
	Sig. (bilateral)								,846
<b>BaP</b>	Pearson Correlation								1
	Sig. (bilateral)								

\* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

**Tabla 14** Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables meteorológicas, la PM10 y BaP para el total de muestras tomadas en Monzón (incluyen muestras tomadas en invierno y verano).

		<b>Presión</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Humedad Relativa</b>	<b>Radiación media</b>	<b>Velocidad viento</b>	<b>Radiación UV</b>	<b>PM10</b>	<b>BaP</b>
<b>Presión</b>	Pearson Correlation	1	-,025	,094	,061	<b>-,766(**)</b>	,007	<b>,678(**)</b>	,190
	Sig. (bilateral)		,895	,617	,743	,000	,969	,000	,306
<b>Temperatura</b>	Pearson Correlation		1	<b>-,606(**)</b>	<b>,840(**)</b>	-,197	<b>,936(**)</b>	-,196	<b>-,856(**)</b>
	Sig. (bilateral)			,000	,000	,289	,000	,289	,000
<b>Humedad Relativa</b>	Pearson Correlation			1	<b>-,756(**)</b>	-,120	<b>-,642(**)</b>	,292	<b>,664(**)</b>
	Sig. (bilateral)				,000	,520	,000	,111	,000
<b>Radiación media</b>	Pearson Correlation				1	-,040	<b>,939(**)</b>	-,270	<b>-,854(**)</b>
	Sig. (bilateral)					,832	,000	,142	,000
<b>Velocidad viento</b>	Pearson Correlation					1	-,146	<b>-,546(**)</b>	-,057
	Sig. (bilateral)						,433	,001	,762
<b>Radiación UV</b>	Pearson Correlation						1	-,270	<b>-,871(**)</b>
	Sig. (bilateral)							,142	,000
<b>PM10</b>	Pearson Correlation							1	<b>,470(**)</b>
	Sig. (bilateral)								,008
<b>BaP</b>	Pearson Correlation								1
	Sig. (bilateral)								

\* La correlación es significativa al nivel 0.05 (bilateral).

\*\* La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).

## CONCLUSIONES

Las principales conclusiones derivadas de este trabajo para el muestreo realizado durante la etapa de verano y de invierno se resumen a continuación:

### **Representatividad del estudio realizado:**

Tanto los muestreos de verano como los de invierno realizados en los cuatro puntos seleccionados se pueden considerar representativos de situaciones típicas de verano e invierno si bien es cierto que en campañas de mayor duración se obtendrían niveles más altos de representatividad. No se producen situaciones meteorológicas anómalas o inusuales ni se han detectado episodios concretos de altas emisiones de PAHs en los puntos de muestreo que pudiesen afectar a la representatividad de los resultados obtenidos en las campañas.

### **En relación a la contaminación por materia particulada:**

- Las **concentraciones medias de PM10** más elevadas fueron **para Monzón seguido de Zaragoza**. Las **mayores concentraciones** se obtuvieron durante el **invierno** en el que se superó el umbral inferior de PM10 para las dos ciudades y el umbral superior de PM10 para Monzón.
- La concentración de **PM10 y de BaP** estaban **correlacionadas de forma positiva al 99% para Zaragoza y Monzón** teniendo en cuenta los dos periodos de muestreo de forma que **el mayor contenido en materia particulada aumentaba el carácter carcinogénico de la muestra**.
- Las condiciones meteorológicas que favorecían la acumulación de PM10 en Zaragoza son **el aumento de la humedad relativa junto con vientos flojos y temperaturas bajas**.
- Se encontraron **diferencias estadísticamente significativas** (95% nivel de confianza) entre las concentraciones de **PM10 para los dos periodos de muestreo** tanto para **Torrelisa** como para **Monagrega** indicando que **las fuentes que producían este contaminante seguían pautas diferentes en los dos periodos**.
- La **PM10 de Monagrega** siguió una **pauta diferente a la PM10 recogida en Zaragoza y Monzón** de forma que **las temperaturas altas, con alta radiación**

**ultravioleta y poca humedad relativa favorecen la resuspensión y la acumulación de PM10.** Situación típica de fondo rural.

**En relación a la contaminación por benzo(a)pireno:**

- No se ha superado en ninguna de las cuatro estaciones de muestreo el umbral de evaluación inferior (0,4 ng/m<sup>3</sup>) establecido por la legislación vigente (RD 812/2007) considerando para el promedio tanto la campaña de verano como la de invierno.
- Lo anterior supone, según se establece el RD 812/2007, anexos II, III y IV, que no sería necesario establecer medidas fijas o indicativas en ninguno de los cuatro puntos. La evaluación de calidad del aire con respecto a este contaminante se podría realizar con métodos de modelización o estimativos.
- Solo se han obtenido valores significativos de PAHs en Zaragoza y solo durante el período invernal (el promedio del periodo invernal ha superado el umbral de evaluación inferior). Esto quiere decir que se considera recomendable continuar midiendo BaP en la ciudad de Zaragoza, con medidas de carácter indicativo, para controlar la evolución de dichos niveles (en el RD 812/2007 se establece que la cobertura mínima temporal de las mediciones indicativas de BaP es del 14%, lo que supone un total de 52 días al año, que deberían ser distribuidas homogéneamente a lo largo del mismo).
- De forma comparativa entre las distintos puntos de muestreo, las **mayores concentraciones de BaP** se obtuvieron en **Zaragoza seguido de Monzón** en ambos periodos de muestreo. Las concentraciones de BaP fueron mínimas tanto en Torrelisa como en Monagrega, siendo ambas ubicaciones de tipo rural.
- Las concentraciones de BaP en los cuatro puntos han sido siempre superiores durante el periodo invernal que durante el periodo estival. Esto se explica en parte a la **contribución fuentes antropogénicas** como la calefacción durante el invierno y a las **diferentes condiciones meteorológicas**.
- Las **condiciones meteorológicas** que **favorecían la concentración de BaP en Zaragoza y Monzón son las mismas: temperaturas bajas, vientos flojos, aumento de la humedad atmosférica y menor radiación solar**. Estas condiciones son las que se producen durante los episodios de nieblas en zonas urbanas como Zaragoza y Monzón. De la misma forma las situaciones

advectivas en las que se produce dispersión de contaminantes resultan en disminución de los niveles de **PAHs** y **PM10**.

## Bibliografía

Artiñano, B., Querol, X., Salvador, P., Rodriguez, S., Alonso, D.G., Alastuey, A., (2001). Assessment of airborne particulate levels in Spain in relation to the new EU directive. *Atmos. Environ.* 35, S43 S53.

De la Cruz, M.T. (Diciembre 2008). Tesis Doctoral, Universidad de Zaragoza. Estudio de los componentes orgánicos e inorgánicos de la PM10 en la ciudad de Zaragoza. Aplicación de modelos de receptor.

Directiva 2004/107/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente.

Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2008, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.

López, J.M., Callén, M.S., García, T., Murillo, R., Navarro, M.V., Mastral, A.M., (2003). Spatial and temporal evolution of atmospheric PAH concentration in Zaragoza, Spain. *The Science of the Total Environment* **307**; 111-124.

López J.M., Callén M.S., Murillo R., Garcia T, Navarro M.V., de la Cruz M.T., Mastral, A.M. (2005). Levels of selected metals in ambient air PM10 in an urban site of Zaragoza (Spain). *Environmental Research* 99, 58-67.

Rodríguez González, S. (2002) Tesis Doctoral, Universidad de Cataluña. Sources and processes affecting levels and composition of atmospheric particulate matter in the Western Mediterranean.

## PERFIL DEL PERSONAL QUE HA INTERVENIDO EN EL INFORME

**Dra. Ana M<sup>a</sup> Mastral Lamarca**, Profesora de Investigación del CSIC, con destino en el ICB de Zaragoza, responsable del Grupo Consolidado de Investigaciones Medioambientales de la DGA. Con más de 30 años dedicada a la investigación científica es autora de más de 150 publicaciones científicas, ha trabajado en la línea de contaminantes orgánicos atmosféricos emitidos en procesos de generación de energía, electricidad y transporte, desde finales de los ochenta, habiendo sido coordinadora del los proyectos de la EU, DG Energía y Transporte, Ref. 7220-EC/026, Ref. 7220-ED/089 y RFC-CR-04006, referente internacional en el proyecto de la IAEA 302-F230.24-SPA-13141 y del Programa Medioambiental de las Naciones Unidas (UNEP) para la Cuenca Mediterránea, así como Inv. Pral de los proyectos nacionales 98BG008, Amb92-0266, 2001BG004 y PN-CTQ2006-02386, todos ellos focalizados en los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.

**Dra. M<sup>a</sup> Soledad Callén Romero**, Científico Titular del CSIC, con destino en el ICB de Zaragoza, perteneciente al Grupo Consolidado de Investigaciones Medioambientales de la DGA. Autora de más de 70 publicaciones científicas, realizó su tesis doctoral en el estudio de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos emitidos en procesos de generación de energía. Realizó una estancia post-doctoral, FPI y Beca Marie Curie, para llevar a cabo el estudio del componente orgánico de la materia particulada en la ciudad de Birmingham, UK en la Universidad de Birmingham bajo la dirección del Prof. Roy M. Harrison y S. Harrad, incorporándose posteriormente al Instituto de Carboquímica con un contrato Ramón y Cajal basado en el estudio del componente orgánico de la materia particulada en atmósfera urbana y en generación de energía.

**Dr. José Manuel López Sebastián**, Investigador post doctoral contratado, con destino en el ICB de Zaragoza, perteneciente al Grupo Consolidado de Investigaciones Medioambientales de la DGA. Autor de más de 30 publicaciones científicas, realizó su tesis doctoral en el estudio de la Contaminación atmosférica en la ciudad de Zaragoza, centrándose en la influencia de la implantación de nuevos procesos energéticos y la mejora de métodos analíticos. Realizó una primera estancia post-doctoral de 2 años, con Beca Marie Curie, para llevar a cabo el estudio de la composición química de la materia

particulada PM2.5 en la ciudad de Cork, Irlanda en la Universidad de Cork bajo la dirección del Prof. John R. Sodeau. Realizó una segunda estancia post-doctoral de 1 año, Contrato Juan de la Cierva, para trabajar en el estudio de la Influencia de Aportes Externos, Regionales y Locales en los Niveles y Composición de Aerosoles Atmosféricos en Estaciones de Fondo y Urbanas de España. Este trabajo lo realizó en el grupo dirigido por el Prof. Xavier Querol en el Departamento de Geología Ambiental del Instituto de Ciencias de la Tierra “Jaume Almera” del CSIC. Posteriormente se reincorporó al Instituto de Carboquímica donde trabaja en el estudio de la dispersión de contaminantes atmosféricos tan importantes como los PAHs y por otro lado en la puesta a punto de métodos de análisis que permitan seguir reacciones fotocatalíticas de destrucción de COVs.

Zaragoza, 10/10/09

Fdo. Dr. A.M. Mastral

Dr. M.S. Callén

Dr. J.M. López