

INFORME FINAL 2010



CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE O CONCELLO DA
CORUÑA E A UNIVERSIDADE DA CORUÑA

**“MEDIDA DOS NIVEIS DE PARTÍCULAS PM₁₀ NA
ZONA DOS CASTROS”**

Instituto Universitario de Medio Ambiente (IUMA)
Universidade da Coruña (UDC)

AUTORES:

Han intervenido:

Dña. María del Pilar Esperón Porto. Técnica superior en Química Ambiental.

Dra. María Piñeiro Iglesias. Técnica superior en Instrumentación Analítica.

Dra. Purificación López Mahía. Catedrática de Química Analítica.

Dra. Soledad Muniategui Lorenzo. Catedrática de Química Analítica.

Dr. Darío Prada Rodríguez. Catedrático de Química Analítica.

de la

Universidad de A Coruña,



AGRADECIMIENTOS:

- o La Fundación ALCOA por financiar la adquisición del muestreador de partículas DIGITEL dentro del Proyecto titulado "Levels of PM10 in the City of a Coruña" entre 2005-2006.
- o Centro Meteorológico Territorial de Galicia situado en A Coruña y perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología.
- o Personal de mantenimiento del Complejo Deportivo San Diego.

IMPORTANTE: CUALQUIER USO CIENTÍFICO O TÉCNICO DE LOS DATOS QUE AQUÍ SE REMITEN TENDRÁN QUE CITAR EXPLÍCITAMENTE LA FUENTE DE LOS MISMOS: Datos suministrados como fruto del Convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de A Coruña y el Instituto Universitario de Medio Ambiente (IUMA) de la Universidad de A Coruña (UDC) para la medida de los niveles de partículas PM₁₀ en la zona de Os Castros (A Coruña).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	5
METODOLOGÍA	7
Muestreo	7
Tratamiento de los filtros y medida gravimétrica	9
RESULTADOS.....	10
Marco Normativo	10
Niveles de PM ₁₀ según medida gravimétrica.....	11
Niveles de PM ₁₀ , PM _{2,5} y PM ₁ según espectrómetro láser	28
CONCLUSIONES	41
ANEXOS	
I. Gráficos de control de las condiciones de humedad y temperatura de la sala de balanzas para la pesada de los filtros con materia particulada	43
II. Intercomparación del espectrómetro láser con el equipo gravimétrico	44
III. Gráficas de los niveles de partículas PM ₁₀ para días laborables y fines de semana ...	46
IV. Origen de las masas de aire	49
V. Comparativa con los resultados durante el período 2007-2010	51
Niveles de PM ₁₀ según medida gravimétrica	51
Niveles de PM ₁₀ , PM _{2,5} y PM ₁ según espectrómetro láser	55

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La calidad del aire es un tema relevante por su implicación en la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza^{1,2}. Además, la adaptación del Real Decreto incorporado al ordenamiento jurídico español en 2002 junto a la Ley 34/2007, incluyen los estudios sobre el conocimiento de la calidad del aire^{3,4}. A esta normativa se le une la nueva Directiva 2008/50 relativa a la calidad de aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa⁵ y el reciente Real Decreto 102/2011⁶ que incorpora al derecho interno las novedades de esta Directiva.

Para una continua vigilancia de la misma es necesario contar con una serie de sistemas que controlen los distintos parámetros, a pesar de que aún queden algunos aspectos por consensuar relativos a la metodología de medida y de criterios unificados que regulen la medición de emisiones e inmisión para ciertos contaminantes. Por último y no menos importante, indicar que no se conocen todas las sustancias presentes en la atmósfera, que cualquier actividad produce emisiones de sustancias a la misma y que para algunos componentes no hay umbral de protección en cuanto a niveles de concentración. Unido a todo lo anterior resaltar que en las ciudades existen fuentes móviles, fijas, puntuales, lineales, difusas, etc. lo que hace complejo el estudio.

El material particulado atmosférico es el conjunto de materia en estado sólido y/o líquido presente en suspensión en la atmósfera, exceptuando el agua pura. Se considera un constituyente habitual de la atmósfera terrestre y es emitido por fuentes naturales (materia mineral resuspendida, aerosol marino, actividad volcánica, incendios forestales no intencionados, emisiones biogénicas, etc.) que contribuyen de forma dominante a las emisiones a escala global (IPCC, 2007)⁷. Además existen numerosas fuentes de emisión antropogénicas (emisiones residenciales y domésticas, tráfico rodado, procesos industriales, generación de energía, actividades de construcción y demolición, procesos extractivos, agricultura, ganadería, incendios forestales intencionados, quemas de biomasa, entre otros...) que contribuyen incrementar los niveles de particulado atmosférico en suspensión.

¹ Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire.

² Ley 8/2002 de 18 de diciembre de protección del medio ambiente atmosférico de Galicia. DOG nº 25 de martes 31 de diciembre de 2002.

³ Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

⁴ Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

⁵ 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 (DO L152 de 11.6.2008).

⁶ Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

⁷ IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>

Uno de los parámetros incluidos en la evaluación de la calidad de aire ambiente^{4,6} son las partículas PM₁₀, entendidas como las partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo, definido por el método de referencia para el muestreo y la medición de PM₁₀ de la norma UNE-EN 12341⁸ para un diámetro aerodinámico de 10 µm con una eficiencia de corte del 50%.

Sin embargo, también ha sido reconocida la importancia y trascendencia, por parte de la Comisión Europea, de la fracción inferior a 2,5 µm (PM_{2,5}). Ya antes en la Directiva 2008/50⁵ y ahora en el reciente Real Decreto 102/2011⁶ se indica que estas partículas tienen importantes repercusiones negativas para la salud humana y debe tenderse a una reducción general de las concentraciones en el medio urbano para garantizar que amplios sectores de la población puedan disfrutar de una mejor calidad del aire. Esta fracción PM_{2,5} se define como las partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo definido por el método de referencia para el muestreo y la medición de PM_{2,5} de la norma UNE-EN 14907⁹, para un diámetro aerodinámico de 2,5 µm con una eficiencia de corte del 50%.

El presente informe final resume los resultados sobre los niveles diarios de partículas PM₁₀, desde enero a diciembre de 2010 en la zona de Os Castros, según el convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de A Coruña-UDC. La selección del punto de muestreo se realizó por parte de los autores del estudio conjuntamente con personal del área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de A Coruña.

Los objetivos principales han sido:

- Evaluación de los niveles de partículas en suspensión PM₁₀ realizando el estudio de la evolución temporal a lo largo del período de muestreo.
- Obtener una serie temporal de niveles de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ para determinar los niveles de partículas de diferentes fracciones granulométricas.
- Comparación simultánea de las medidas de PM₁₀ obtenidas con un equipo en continuo GRIMM y las procedentes del captador de referencia gravimétrico.
- Realizar una evaluación de la calidad de aire en el lugar de muestreo de acuerdo a la normativa vigente.
- Además se incluye una comparativa con los valores encontrados en años anteriores: 2007-2010.

⁸ Norma UNE-EN 12341:1999 Calidad del aire. Determinación de la fracción PM₁₀ de la materia particulada en suspensión. Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida de referencia.

⁹ Norma UNE-EN 14907:2006 Calidad de aire ambiente. Método de medición gravimétrica para la determinación de la fracción másica PM_{2,5} de la materia particulada en suspensión.

METODOLOGÍA

MUESTREO

El punto de muestreo se sitúa en las instalaciones del Complejo Deportivo San Diego (figura 1) en donde se han recogido muestras diarias desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2010.



Figura 1. Punto de muestreo (Complejo Deportivo de San Diego).

Para la recogida de las muestras se empleó un muestreador automático de alto volumen DIGITEL DHA-80¹⁰ (figura 2) que cumple los requisitos de la Norma UNE-EN 12341 para el muestreo de PM₁₀. El caudal de aspiración durante el muestreo ha sido de 30 m³/h. El funcionamiento del equipo es el siguiente: el aire penetra por el cabezal de corte (PM₁₀) por efecto de la aspiración de una bomba, y atraviesa el filtro para ser finalmente expulsado por el extremo opuesto del equipo. Las partículas del diámetro seleccionado se retienen sobre el filtro. El equipo cuenta con un sensor para la medida del caudal de aspiración y un programador para el control de tiempo de muestreo. Además dispone de un cambio automático de filtros con una autonomía para 15 filtros. El tiempo de muestreo es de 24 horas, desde las 0 hasta las 24 horas (UTC). Aunque el muestreo es diario, las muestras se recogen semanalmente y una vez a la semana se comprueba que los equipos de muestreo funcionan correctamente.

¹⁰ Muestreador adquirido gracias a un Proyecto financiado por la Fundación ALCOA titulado “Levels of PM₁₀ in the City of a Coruña” entre 2005-2006.



Figura 2. Fotografías (exterior e interior) del equipo de muestreo DIGITEL DHA-80.

En el punto de muestreo se dispone además de un espectrómetro láser GRIMM 1107 (figura 3). El monitor láser GRIMM 1107 permite medir en modo continuo los niveles de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 (partículas de diámetro $< 1\mu m$). Este equipo realiza medidas del número de partículas en función del diámetro por medio de la dispersión del haz de un láser. Las partículas penetran en el equipo y generan señales a diferentes longitudes de onda en función de su diámetro, que son registradas por el detector. El número de cuentas por cada fracción granulométrica es después convertido a masa por medio de un algoritmo y finalmente expresado en $\mu g/m^3$ de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 . Así, al conocer la distribución de las tres fracciones granulométricas del material particulado en suspensión en el aire se puede establecer la contribución de cada una al total de PM_{10} .

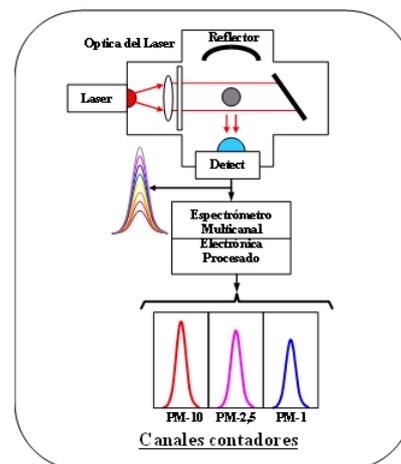


Figura 3. Fotografía y esquema de funcionamiento (cortesía de SIR S.A) del espectrómetro láser GRIMM 1107.

TRATAMIENTO DE LOS FILTROS Y MEDIDA GRAVIMÉTRICA

Para el muestreo se han empleado filtros de fibra de cuarzo Munktell MK360 de 150 mm de diámetro. Los filtros se manejan con pinzas de teflón y antes de su uso se comprueba, visualmente y empleando una lámpara de luz visible que no presentan defecto alguno, tales como orificios o pérdidas de material que ocasionarían errores en la recolección de la muestra.

Los filtros en blanco y los filtros con muestra PM_{10} se acondicionan, como mínimo 48 horas, antes de la pesada en una sala de balanzas acondicionada a $20\pm 1^\circ C$ de temperatura y $50\pm 5\%$ humedad relativa⁸. La balanza utilizada para la pesada se encuentra instalada en dicha sala y en cada sesión de pesada se comprueban las condiciones de la sala y se documentan (ver Anexo I, pág. 43).

Aunque se trata de la medida de PM_{10} , el tratamiento de los filtros se realizó según la norma relativa a la medida de $PM_{2,5}$ por ser más restrictiva. Al inicio de cada sesión de pesada se verifica el correcto funcionamiento de la balanza con pesas de referencia de masas similares a los filtros, concretamente con las de 1 g y 10 g. Además, en el cuarto de balanzas se mantienen filtros blancos de referencia iguales a los que se usan en el muestreo y su peso se registra en cada sesión de pesada. Si las masas de los filtros blancos de referencia han cambiado menos de 500 μg desde la última sesión de pesada, su masa media se registra y se procede a la pesada de los filtros con la muestra. En caso contrario, no se pesan filtros con las muestras, hasta que la diferencia de pesada de los filtros blancos de referencia sea menor de los 500 μg .

Los filtros que se usan en el muestreo se pesan dos veces con un intervalo de al menos 12 h, para confirmar que el peso del filtro es estable. Posteriormente se toma la media de las dos medidas como peso del filtro en blanco. Después del muestreo los filtros, con materia particulada PM_{10} , se mantienen en la sala de balanzas durante un mínimo de 48 h antes de la primera pesada y después de 24 a 72 h se realiza una segunda pesada. La masa del filtro PM_{10} se toma como la media de las dos medidas.

A continuación se crea una base de datos con los valores de PM_{10} referidos al volumen de muestreo ($\mu g PM_{10}/m^3$). Los datos obtenidos se redondean a un número entero y en hora UTC (Tiempo Universal Coordinado), antes de su almacenamiento en la base de datos. La hora local sería la hora UTC+1h (desde el último domingo de octubre hasta el último domingo de marzo) y UTC+2h (desde el último domingo de marzo hasta el último domingo de octubre).

RESULTADOS

MARCO NORMATIVO

En el Real Decreto 102/2011⁶ se establecen los valores indicados en la tabla I.

Tabla I. Valores límite (PM₁₀) en condiciones ambientales para la protección de la salud⁶.

	Período de promedio	Valor límite*	Margen de tolerancia**	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor límite diario	24 horas	50 µg/m ³ , que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año	50%	En vigor desde el 1 de enero de 2005
Valor límite anual	1 año civil	40 µg/m ³	20%	En vigor desde el 1 de enero de 2005

**Valor límite*: nivel fijado basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza, que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado.

***Margen de tolerancia*: porcentaje del valor límite o cantidad en que éste puede sobrepasarse con arreglo a las condiciones establecidas.

Existen casos en que el cumplimiento de los valores límite puede ser descontado cuando los valores límite son sobrepasados por las aportaciones de fuentes naturales, es decir, por las emisiones de contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, incluyendo *fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, las actividades sísmicas o geotérmicas, los incendios forestales no intencionados, los fuertes vientos, los aerosoles marinos, la resuspensión atmosférica y el transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas*".

Dada la importancia de la medida de los niveles de partículas PM_{2,5}, tal y como se ha comentado en la introducción de este informe, se establecen unos valores para estas partículas finas, tal y como se recoge en la tabla II.

Además en el Real Decreto 102/2011⁶ se incluyen los umbrales superior e inferior de evaluación (UES y UEI), cuya superación se determinará sobre la base de las concentraciones registradas durante los cinco años anteriores si se dispone de datos. Se considerará que se ha superado un umbral de evaluación cuando, en el transcurso de esos cinco años, se haya superado el valor numérico del umbral durante al menos tres años distintos (tabla III).

Tabla II. Valores objetivo y límite de las partículas (PM_{2,5}) en condiciones ambientales para la protección de la salud⁶.

	Período de promedio	Valor	Margen de tolerancia	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor objetivo* anual	1 año civil	25 µg/m ³	-	En vigor desde el 1 de enero de 2010
Valor límite anual (fase I)	1 año civil	25 µg/m ³	20% el 11 de junio de 2008, que se reducirá el 1 de enero siguiente y en lo sucesivo, cada 12 meses, en porcentajes idénticos anuales hasta alcanzar un 0% el 1 de enero de 2015 (4 µg/m ³ en 2010)	1 de enero de 2015
Valor límite** anual (fase II)	1 año civil	20 µg/m ³	-	1 de enero de 2020

**Valor objetivo*: nivel de un contaminante que deberá alcanzarse, en la medida de lo posible, en un momento determinado para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

***Valor límite* indicativo que deberá referirse como valor límite en 2013 a la luz de una mayor información acerca de los efectos sobre la salud y el medio ambiente, la viabilidad técnica y la experiencia obtenida con el valor objetivo en los Estados Miembros de la Unión Europea.

Tabla III. Umbrales de evaluación superior e inferior para PM₁₀ y PM_{2,5}.

	Media diaria PM ₁₀	Media anual PM ₁₀	Media anual PM _{2,5} (1)
Umbral superior de evaluación*	70% del valor límite (35 µg/m ³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	70% del valor límite (28 µg/m ³)	70% del valor límite (17 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación**	50% del valor límite (25 µg/m ³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	50% del valor límite (20 µg/m ³)	50% del valor límite (12 µg/m ³)

**Umbral superior de evaluación*: nivel por debajo del cual puede utilizarse una combinación de medidas fijas y técnicas de modelización y/o mediciones indicativas para evaluar la calidad del aire ambiente.

***Umbral inferior de evaluación*: nivel por debajo del cual es posible limitarse al empleo de técnicas de modelización para evaluar la calidad del aire ambiente.

(1) El umbral superior de evaluación y el umbral inferior de evaluación para las PM_{2,5} no se aplica a las mediciones para evaluar el cumplimiento del objetivo de reducción de la exposición a las PM_{2,5} para la protección de la salud humana.

NIVELES DE PM₁₀ SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

La concentración media anual de PM₁₀ obtenida en el punto de muestreo objeto de estudio es de 28 µg/m³. Valor que cumple con los requerimientos de la normativa⁶ al estar por debajo del valor límite promedio anual de 40 µg/m³. Sin embargo supone un 70% del valor límite como media anual, es decir, coincide con el límite permitido como media anual para el umbral superior de evaluación (tabla III).

En la tabla IV se indica un resumen de los resultados obtenidos observando que se han producido 10 superaciones del valor límite diario de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valor alejado de las 35 permitidas como máximo que se indican en la normativa.

Tabla IV. Resumen de los niveles de PM₁₀ en las muestras recogidas durante el año 2010.

Nº muestras recogidas	358
Cobertura temporal (relativa al año civil)	98%
VALOR MÁXIMO PROMEDIO DIARIO de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	74
VALOR MÍNIMO PROMEDIO DIARIO de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10
VALOR MEDIO ANUAL de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28

La tabla V y la figura 4 recogen los niveles medios mensuales de PM₁₀ que oscilan entre los 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de diciembre y los 36, 34, 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de junio, abril y mayo y los 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de julio y septiembre. Los valores máximos diarios se producen en los meses junio con 74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (coincidiendo con la noche de San Juan); los 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 61 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de mayo y octubre, respectivamente disminuyendo hasta los 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en los meses de agosto y febrero, respectivamente. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de octubre y diciembre y los 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de abril y julio.

En la tabla también se indica la distribución por mes del número de superaciones del valor límite diario, observando que entre los meses de mayo, junio y septiembre se producen un total de 7 que representan el 70 % del total de superaciones ocurridas durante 2010, coincidiendo con los meses con valores promedio mensuales más altos.

Tabla V. Valores medios, rangos de concentración y número de superaciones.

	Máximo	Mínimo	Media	Nº superaciones
	(μg/m ³)			
Enero	49	14	24	0
Febrero	35	11	23	0
Marzo	43	13	27	0
Abril	54	18	34	1
Mayo	64	16	32	3
Junio	74	17	36	2
Julio	52	18	30	1
Agosto	37	14	22	0
Septiembre	53	17	30	2
Octubre	61	7	25	1
Noviembre	47	10	27	0
Diciembre	42	7	20	0

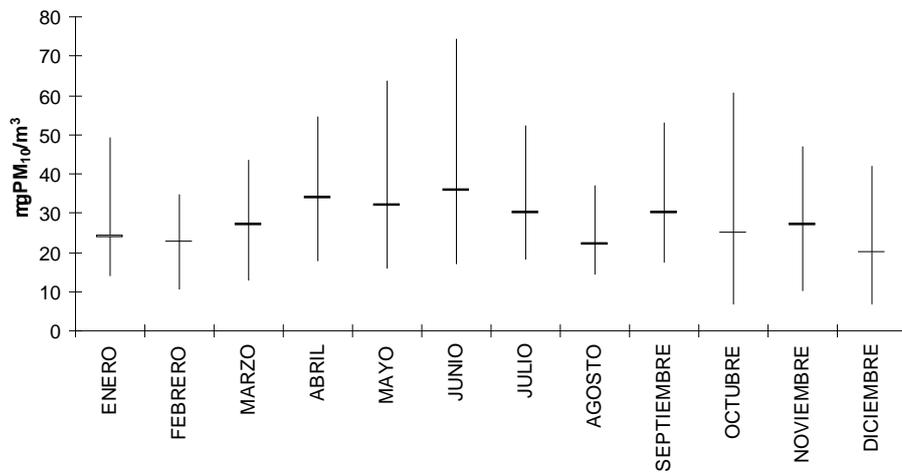
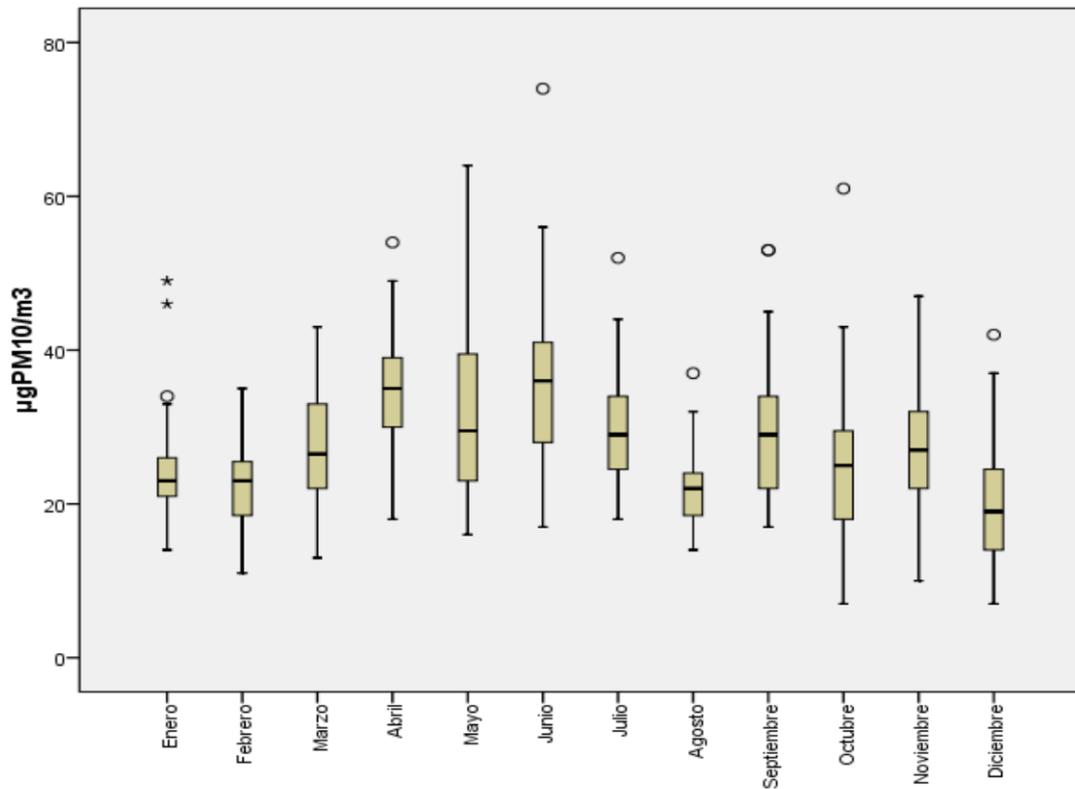


Figura 4. Variación mensual del valor medio y del rango de concentración de PM₁₀.

Para facilitar el análisis de los datos, a menudo se utilizan métodos gráficos simples entre los cuales están los diagramas de caja o de Box-Whisker. Los valores máximo y mínimo, los cuartiles inferior y superior (percentil 25 y 75 respectivamente) y la mediana (percentil 50) se representan en una caja rectangular alineada verticalmente. La caja se extiende del cuartil inferior al superior, y es atravesada de un lado a otro por la mediana. A partir de los extremos de la caja se extienden líneas (llamadas comúnmente “bigotes”) hasta los valores máximo y mínimo. Si un dato dista del cuartil más cercano en más de 1,5 y de 3 veces el intervalo intercuartílico se representa separado de los bigotes.

En la figura 5 se muestran los gráficos para el total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional de la concentración de PM₁₀ en el punto de muestreo refleja los valores más altos de abril a julio (primavera y comienzos de verano) y en septiembre resultando los meses de invierno y el mes de agosto los que presentan valores inferiores. También hay que observar la diferente variabilidad para cada mes.



° Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 5. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo.

En la tabla VI se muestran los valores promedio diarios de PM_{10} sombreando los días de superación del valor límite, que representan un 2,8% del total de muestras. Un 10,3% superan los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un 33,5% superan los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un 74% superan los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En relación con los valores de UES y UEI, indicar que un 19,3% de las muestras (69 muestras) superan el UES de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un 51,7% (185 muestras) superan el UEI de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relación con los umbrales de evaluación se superan las 35 ocasiones como máximo permitidas durante un año civil de superación de dichos umbrales y además el valor medio anual de $28 \mu\text{g} PM_{10}/\text{m}^3$ coincide con el UES como media anual de PM_{10} (70% del valor límite de UES).

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀.

ENERO 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	FEBRERO 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	MARZO 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)
Viernes 1	15	Lunes 1	25	Lunes 1	17
Sábado 2	14	Martes 2	35	Martes 2	22
Domingo 3	25	Miércoles 3	33	Miércoles 3	23
Lunes 4	24	Jueves 4	24	Jueves 4	31
Martes 5	30	Viernes 5	23	Viernes 5	33
Miércoles 6	24	Sábado 6	27	Sábado 6	26
Jueves 7	26	Domingo 7	24	Domingo 7	28
Viernes 8	23	Lunes 8	34	Lunes 8	26
Sábado 9	24	Martes 9	25	Martes 9	27
Domingo 10	22	Miércoles 10	23	Miércoles 10	30
Lunes 11	21	Jueves 11	17	Jueves 11	34
Martes 12	26	Viernes 12	19	Viernes 12	23
Miércoles 13	22	Sábado 13	19	Sábado 13	21
Jueves 14	31	Domingo 14	18	Domingo 14	18
Viernes 15	23	Lunes 15	22	Lunes 15	37
Sábado 16	28	Martes 16	26	Martes 16	39
Domingo 17	46	Miércoles 17	21	Miércoles 17	43
Lunes 18	18	Jueves 18	20	Jueves 18	26
Martes 19	16	Viernes 19	17	Viernes 19	16
Miércoles 20	33	Sábado 20	16	Sábado 20	13
Jueves 21	22	Domingo 21	18	Domingo 21	33
Viernes 22	22	Lunes 22	27	Lunes 22	29
Sábado 23	14	Martes 23	23	Martes 23	35
Domingo 24	24	Miércoles 24	26	Miércoles 24	20
Lunes 25	23	Jueves 25	24	Jueves 25	17
Martes 26	21	Viernes 26	20	Viernes 26	26
Miércoles 27	34	Sábado 27	17	Sábado 27	33
Jueves 28	49	Domingo 28	11	Domingo 28	28
Viernes 29	22			Lunes 29	43
Sábado 30	17			Martes 30	35
Domingo 31	16			Miércoles 31	24

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀ (continuación).

ABRIL 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	MAYO 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	JUNIO 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)
Jueves 1	18	Sábado 1	19	Martes 1	34
Viernes 2	<i>sin dato</i>	Domingo 2	<i>sin dato</i>	Miércoles 2	41
Sábado 3	33	Lunes 3	36	Jueves 3	34
Domingo 4	30	Martes 4	31	Viernes 4	28
Lunes 5	32	Miércoles 5	34	Sábado 5	24
Martes 6	39	Jueves 6	33	Domingo 6	22
Miércoles 7	37	Viernes 7	<i>sin dato</i>	Lunes 7	23
Jueves 8	31	Sábado 8	28	Martes 8	19
Viernes 9	36	Domingo 9	18	Miércoles 9	17
Sábado 10	35	Lunes 10	26	Jueves 10	29
Domingo 11	41	Martes 11	39	Viernes 11	42
Lunes 12	41	Miércoles 12	23	Sábado 12	36
Martes 13	30	Jueves 13	<i>sin dato</i>	Domingo 13	29
Miércoles 14	35	Viernes 14	28	Lunes 14	33
Jueves 15	34	Sábado 15	40	Martes 15	46
Viernes 16	<i>sin dato</i>	Domingo 16	32	Miércoles 16	41
Sábado 17	37	Lunes 17	35	Jueves 17	38
Domingo 18	29	Martes 18	42	Viernes 18	41
Lunes 19	46	Miércoles 19	43	Sábado 19	26
Martes 20	49	Jueves 20	43	Domingo 20	26
Miércoles 21	40	Viernes 21	64	Lunes 21	36
Jueves 22	22	Sábado 22	55	Martes 22	38
Viernes 23	40	Domingo 23	52	Miércoles 23	56
Sábado 24	22	Lunes 24	<i>sin dato</i>	Jueves 24	74
Domingo 25	30	Martes 25	25	Viernes 25	50
Lunes 26	38	Miércoles 26	23	Sábado 26	37
Martes 27	54	Jueves 27	20	Domingo 27	38
Miércoles 28	35	Viernes 28	26	Lunes 28	41
Jueves 29	24	Sábado 29	16	Martes 29	39
Viernes 30	23	Domingo 30	18	Miércoles 30	35
		Lunes 31	17		

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀ (continuación).

JULIO 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	AGOSTO 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	SEPTIEMBRE 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)
Jueves 1	33	Domingo 1	18	Miércoles 1	53
Viernes 2	23	Lunes 2	24	Jueves 2	39
Sábado 3	28	Martes 3	31	Viernes 3	33
Domingo 4	34	Miércoles 4	20	Sábado 4	27
Lunes 5	35	Jueves 5	27	Domingo 5	30
Martes 6	20	Viernes 6	32	Lunes 6	20
Miércoles 7	38	Sábado 7	28	Martes 7	23
Jueves 8	41	Domingo 8	25	Miércoles 8	29
Viernes 9	27	Lunes 9	24	Jueves 9	34
Sábado 10	25	Martes 10	24	Viernes 10	40
Domingo 11	20	Miércoles 11	23	Sábado 11	32
Lunes 12	19	Jueves 12	21	Domingo 12	22
Martes 13	18	Viernes 13	24	Lunes 13	29
Miércoles 14	31	Sábado 14	20	Martes 14	41
Jueves 15	26	Domingo 15	20	Miércoles 15	53
Viernes 16	29	Lunes 16	24	Jueves 16	45
Sábado 17	30	Martes 17	24	Viernes 17	22
Domingo 18	34	Miércoles 18	17	Sábado 18	34
Lunes 19	33	Jueves 19	20	Domingo 19	26
Martes 20	26	Viernes 20	22	Lunes 20	37
Miércoles 21	24	Sábado 21	19	Martes 21	32
Jueves 22	30	Domingo 22	15	Miércoles 22	34
Viernes 23	34	Lunes 23	16	Jueves 23	26
Sábado 24	26	Martes 24	22	Viernes 24	20
Domingo 25	22	Miércoles 25	14	Sábado 25	19
Lunes 26	28	Jueves 26	17	Domingo 26	17
Martes 27	37	Viernes 27	22	Lunes 27	23
Miércoles 28	44	Sábado 28	17	Martes 28	25
Jueves 29	52	Domingo 29	16	Miércoles 29	18
Viernes 30	43	Lunes 30	22	Jueves 30	20
Sábado 31	24	Martes 31	37		

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀ (continuación).

OCTUBRE 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	NOVIEMBRE 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)	DICIEMBRE 2010	PM ₁₀ (µg/m ³)
Viernes 1	18	Lunes 1	39	Miércoles 1	21
Sábado 2	13	Martes 2	30	Jueves 2	14
Domingo 3	12	Miércoles 3	28	Viernes 3	19
Lunes 4	26	Jueves 4	32	Sábado 4	11
Martes 5	10	Viernes 5	41	Domingo 5	7
Miércoles 6	29	Sábado 6	34	Lunes 6	12
Jueves 7	17	Domingo 7	22	Martes 7	17
Viernes 8	7	Lunes 8	37	Miércoles 8	14
Sábado 9	12	Martes 9	47	Jueves 9	15
Domingo 10	25	Miércoles 10	41	Viernes 10	27
Lunes 11	29	Jueves 11	18	Sábado 11	42
Martes 12	18	Viernes 12	12	Domingo 12	36
Miércoles 13	32	Sábado 13	10	Lunes 13	37
Jueves 14	27	Domingo 14	18	Martes 14	24
Viernes 15	21	Lunes 15	27	Miércoles 15	14
Sábado 16	20	Martes 16	18	Jueves 16	27
Domingo 17	17	Miércoles 17	30	Viernes 17	24
Lunes 18	18	Jueves 18	31	Sábado 18	24
Martes 19	26	Viernes 19	20	Domingo 19	13
Miércoles 20	27	Sábado 20	31	Lunes 20	19
Jueves 21	39	Domingo 21	25	Martes 21	19
Viernes 22	61	Lunes 22	27	Miércoles 22	14
Sábado 23	31	Martes 23	23	Jueves 23	26
Domingo 24	20	Miércoles 24	30	Viernes 24	22
Lunes 25	21	Jueves 25	23	Sábado 25	14
Martes 26	39	Viernes 26	34	Domingo 26	19
Miércoles 27	43	Sábado 27	24	Lunes 27	14
Jueves 28	30	Domingo 28	23	Martes 28	10
Viernes 29	27	Lunes 29	22	Miércoles 29	21
Sábado 30	20	Martes 30	15	Jueves 30	30
Domingo 31	36			Viernes 31	25

Por lo general, a igualdad de fuentes y tasas de emisión, las altas concentraciones de contaminantes en el aire pueden estar relacionadas con las inversiones de temperatura en la atmósfera ya que éstas inhiben la dispersión de contaminantes, y con la escasa precipitación.

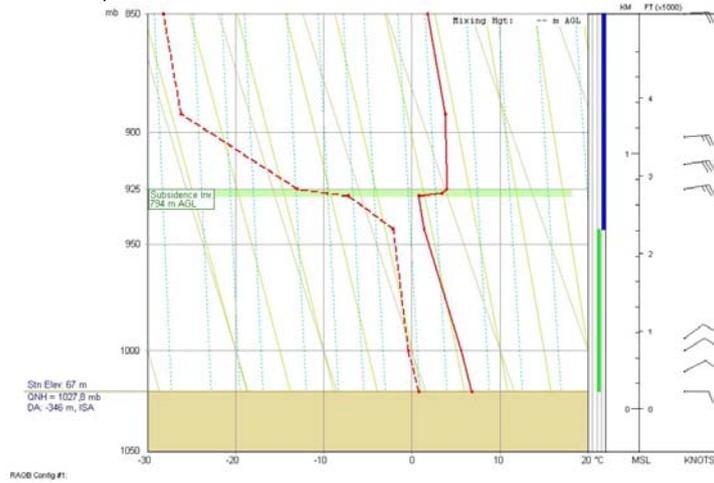
La capa límite atmosférica o capa de mezcla representa el estrato de aire sujeto a la influencia de la superficie terrestre. La determinación de la altura de capa de mezcla nos permite conocer la profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado y dispersión de los contaminantes, de ahí la gran importancia a la hora de estudiar episodios de contaminación.

Por ello se abre un ilimitado campo de investigación orientado a descubrir cómo se comporta y cuál es la extensión del estrato en el que se emiten los vertidos contaminantes y en el que se desarrolla la vida sobre la Tierra.

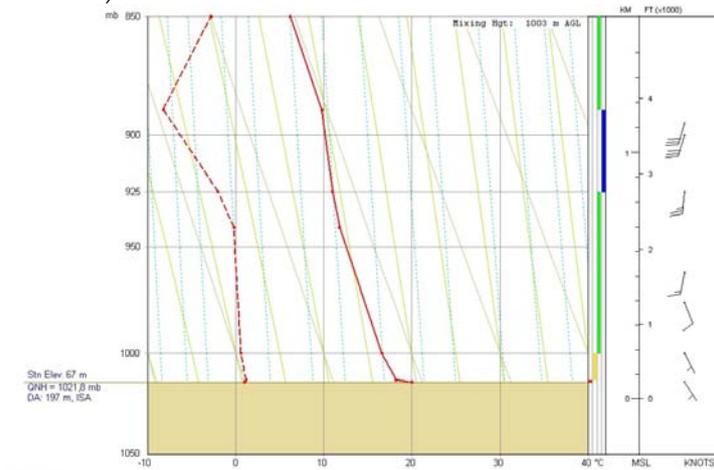
Lo interesante sería conocer la variación horaria de la misma a lo largo del día, lo cual no se realiza en este estudio. No obstante y con las limitaciones que presenta se han calculado las alturas de la capa de mezcla mediante el programa RAOB 5.7 (RAwinsonde OBServation, Environmental Research Services, LLC) a partir de los radiosondeos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología, realizados a las 12 h del mediodía y a las 0 h de la noche, hora local.

En la figura 6 se presentan los perfiles de temperatura de la atmósfera de algunos días representativos con niveles altos de partículas. Estas gráficas se han obtenido mediante el programa RAOB 5.7, y se representa la presión atmosférica (en mb) en el eje principal y la altura (en km) en el eje secundario frente a la temperatura (en °C). La línea continua de color rojo representa la temperatura ambiente y la discontinua la temperatura de rocío (temperatura a partir de la cual el vapor de agua comienza a condensar en pequeñas gotas). Cuanto más cerca estén estas dos líneas más húmedo está el aire. Las zonas de color verde indican inversiones de temperatura que se producen cuando la temperatura del aire aumenta con la altura, situación muy común pero generalmente confinada a una capa relativamente superficial.

28 enero 2010 (23h UTC)



17 marzo 2010(11h UTC)



21 mayo 2010 (10h UTC)

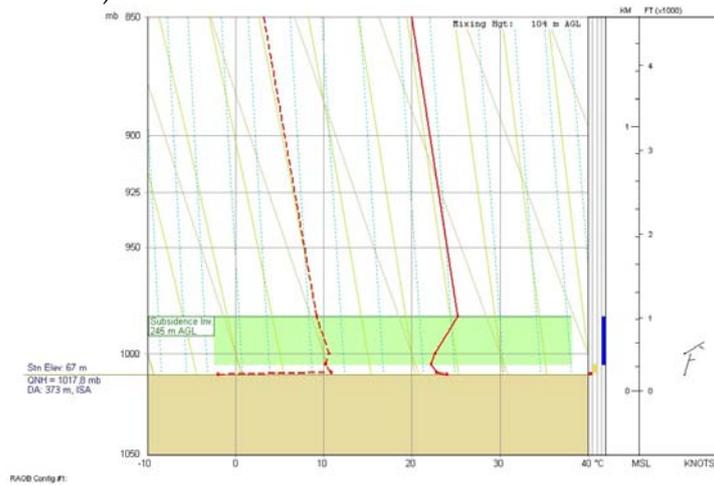
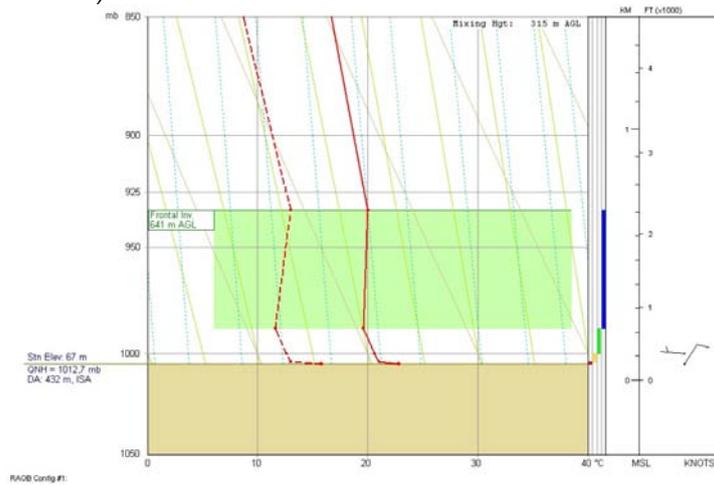
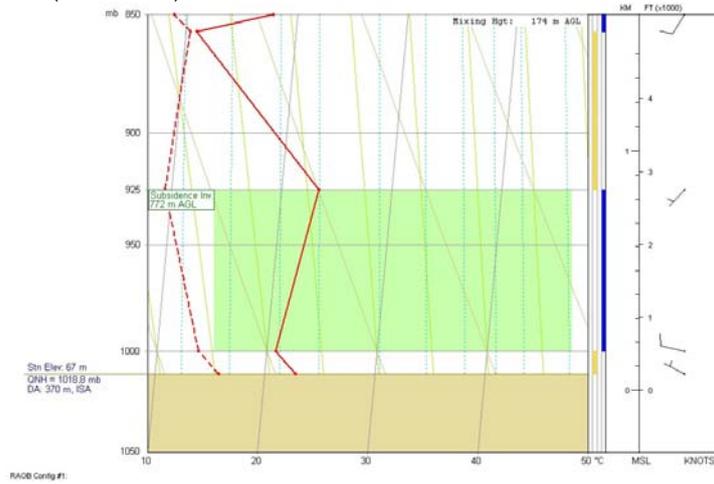


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB. (continúa)

25 junio 2010 (10h UTC)



15 septiembre 2010 (10h UTC)



22 octubre 2010 (22h UTC)

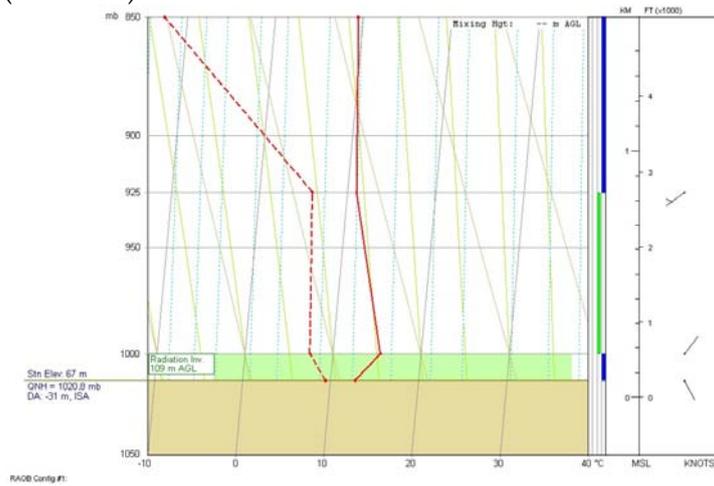


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB.

A continuación, en la figura 7 se expresan los resultados en forma de gráfica donde se pueden ver la evolución de los niveles diarios de PM₁₀, a lo largo de los meses de muestreo. En las gráficas se somborean en gris claro los valores por encima del umbral de evaluación inferior (UEI, 25 µg/m³) y con gris oscuro por encima del umbral de evaluación superior (UES, 35 µg/m³).

Como se puede observar los niveles más altos de partículas dentro de cada mes coinciden en períodos prolongados y continuados, como mínimo de 3 días, salvo algún día puntual.

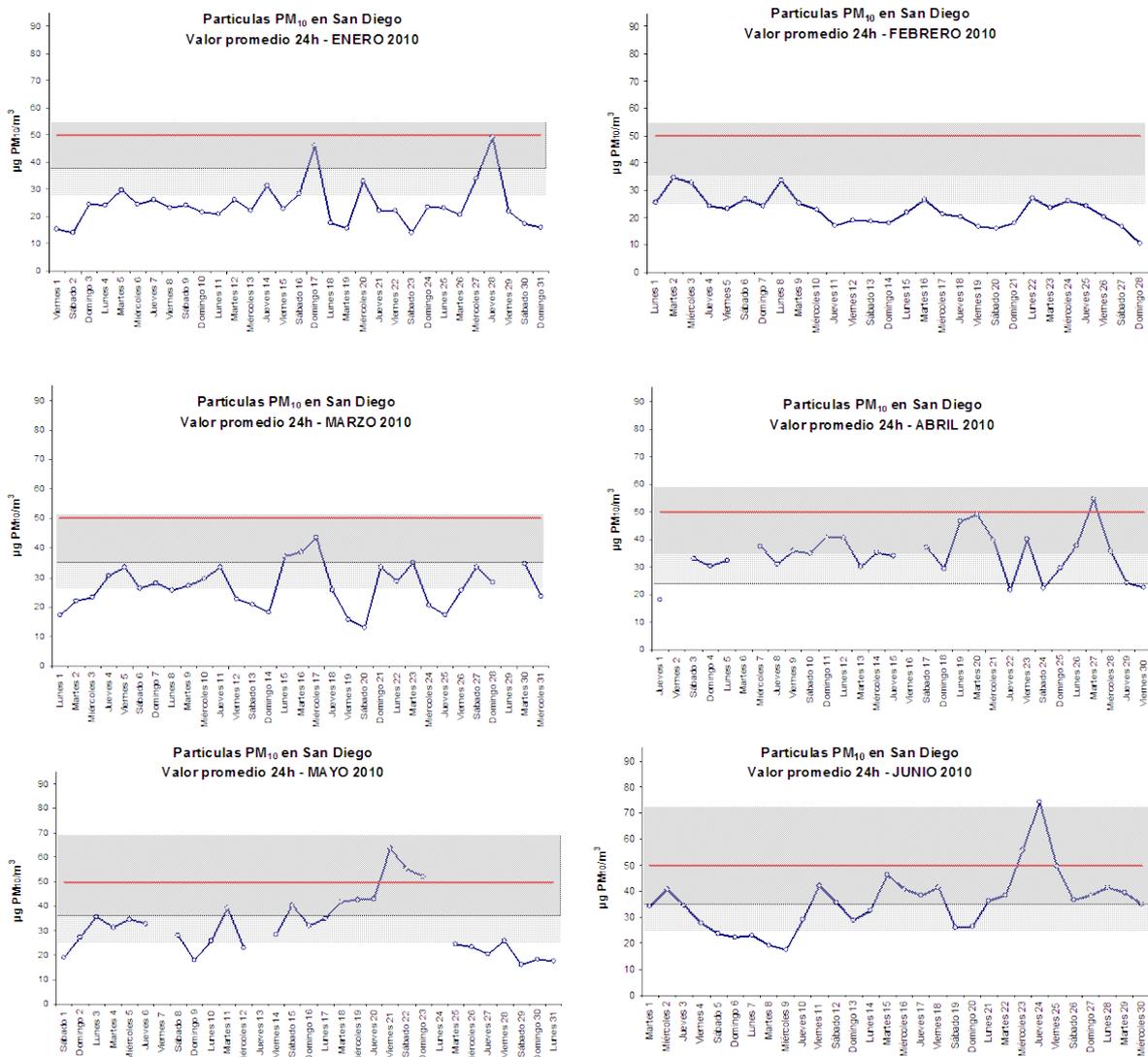


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀. (continúa)

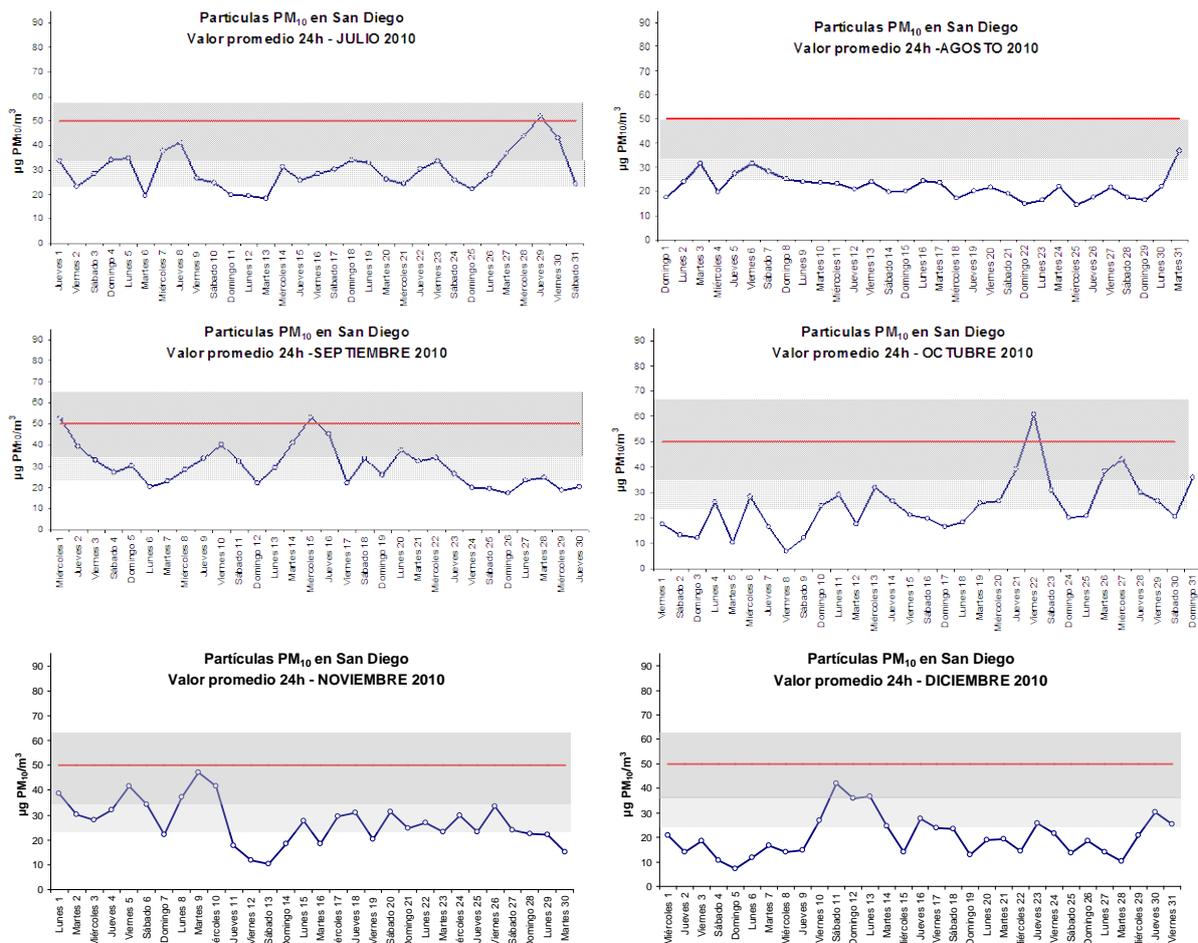


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀.

En la figura 8 se representan el porcentaje de muestras que superan dentro de cada mes el UEI y qué porcentaje de ellas supera también el UES. Así observamos que en los meses de marzo a julio y de septiembre a noviembre un número mayor de muestras superan el UEI sin embargo el porcentaje de estas muestras que superen también el UES es mayor en los meses de abril a junio seguidos de septiembre, que coinciden con los niveles promedio mensuales más altos.

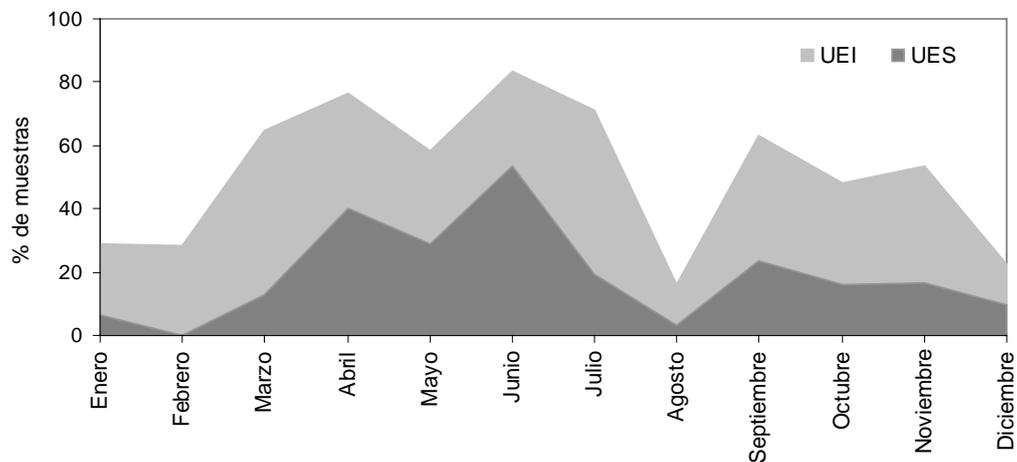


Figura 8. Evolución mensual del porcentaje de muestras que superan los UEI y UES.

Para evaluar la influencia de la precipitación en los niveles de materia particulada PM_{10} se ha representado el sumatorio de la precipitación acumulada en un mes frente a la media mensual de los niveles de PM_{10} (figura 9). Los datos de precipitación han sido obtenidos en la estación de inmisión situada en el Castrillón perteneciente al Ayuntamiento de A Coruña.

Así, se observan las diferencias entre los distintos meses de estudio, en los meses de primavera/verano las precipitaciones fueron menores y los niveles promedio mensuales de partículas son los más altos, mientras que en los meses de invierno, aunque la precipitación acumulada es mayor los niveles promedio mensuales de partículas no se reducen sustancialmente.

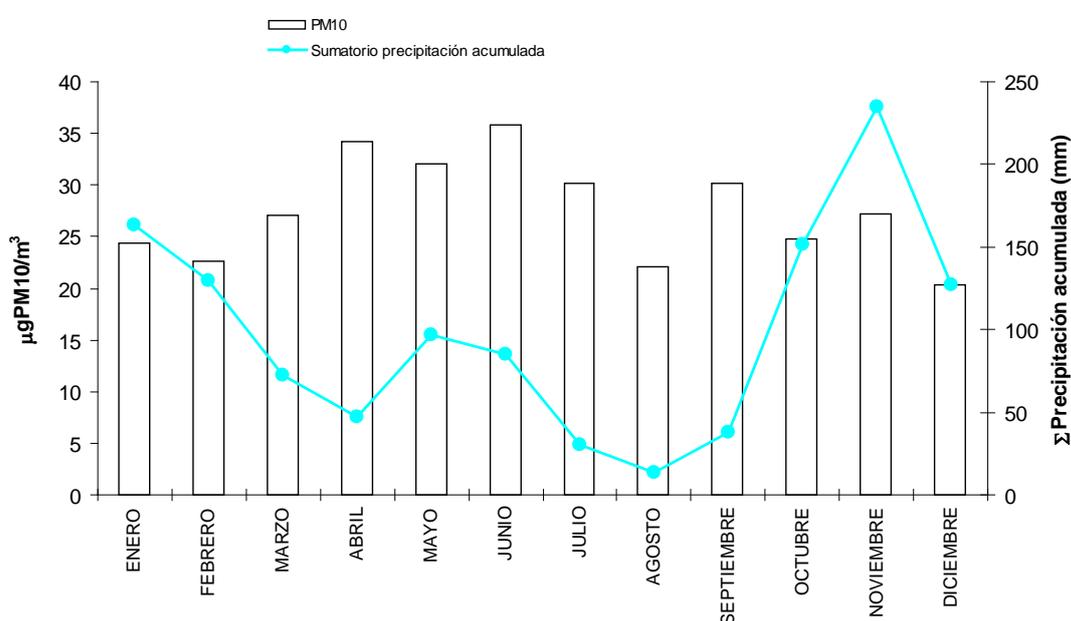


Figura 9. Niveles promedio mensuales de PM_{10} y de sumatorio de precipitación acumulada.

Si se hace una discusión más detallada representando la precipitación acumulada diaria se observa que primer y último trimestres del año han sido períodos lluviosos con precipitaciones continuas durante una semana, mientras que el segundo y tercer trimestre, las lluvias además de ser escasas tuvieron una duración como máximo de 2 o 3 días (figura 10).

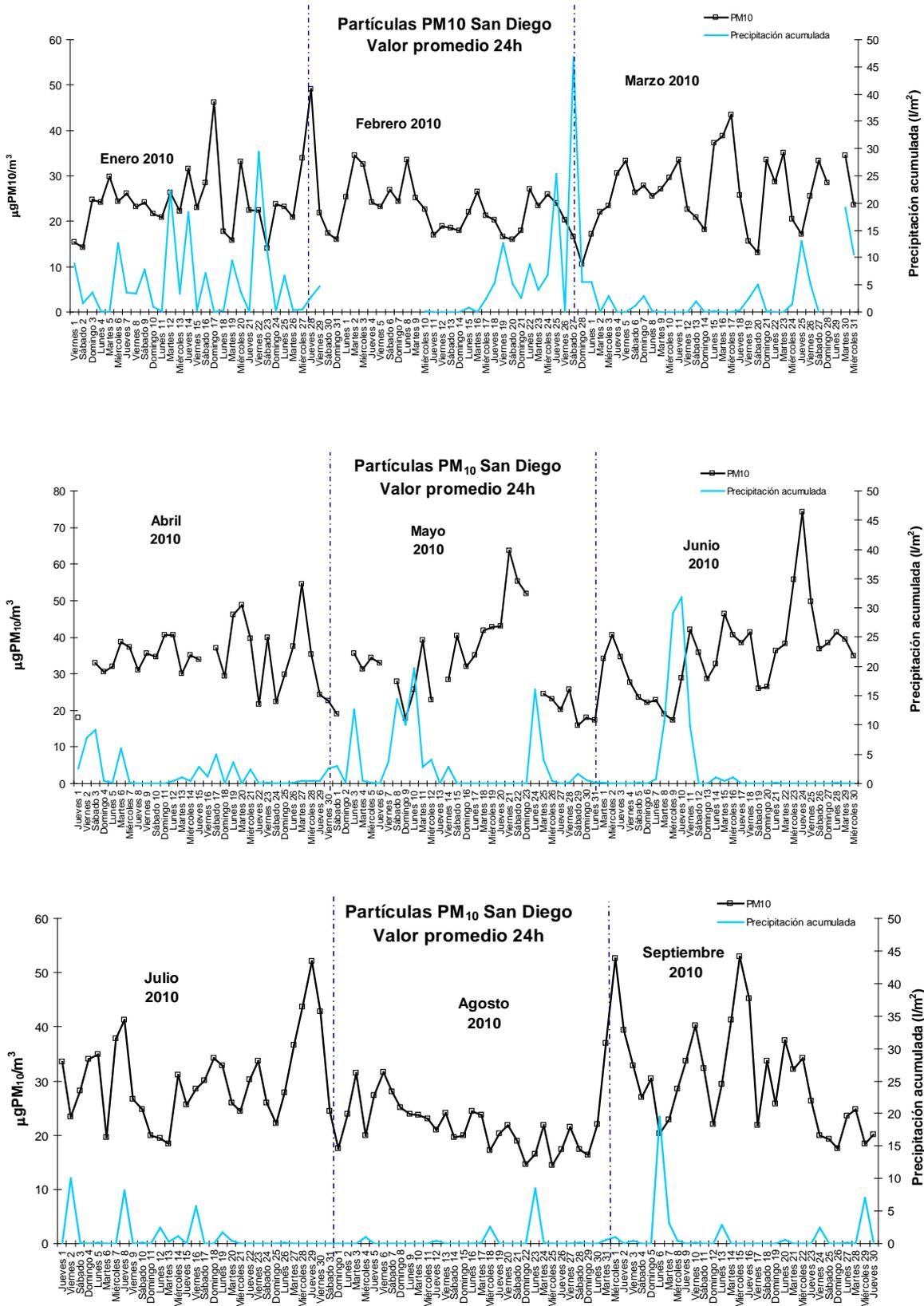


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedio diarios de partículas PM_{10} . (continúa)

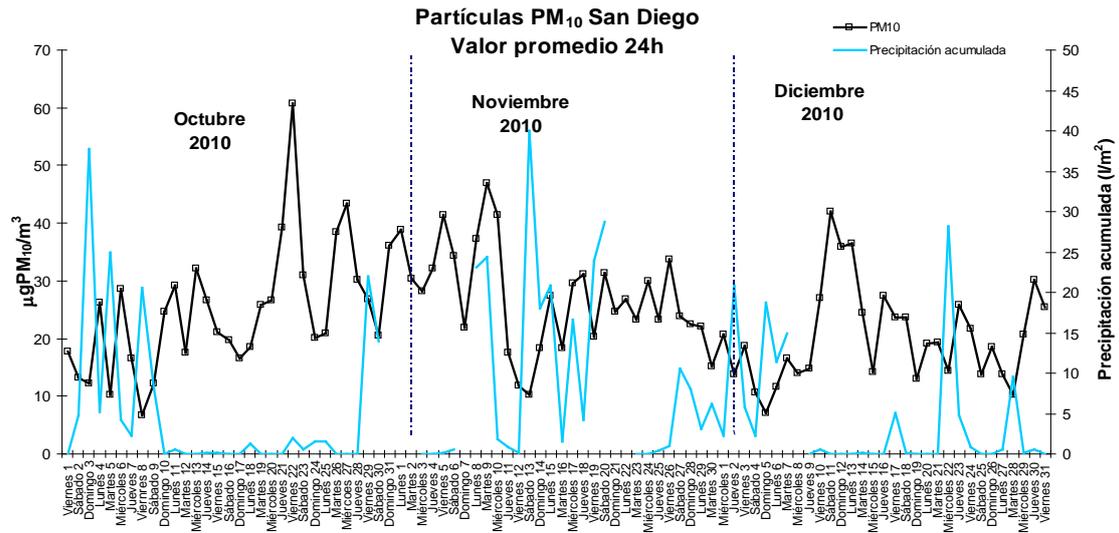
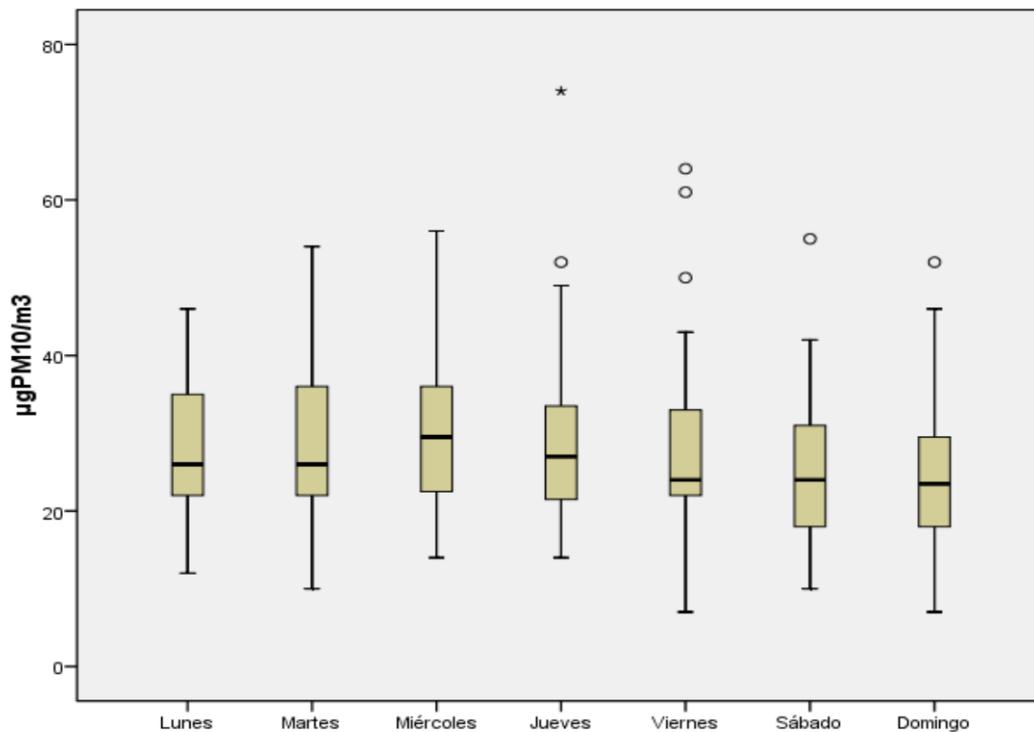


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedio diarios de partículas PM₁₀.

En relación con la variación de los niveles de PM₁₀ en función del día de la semana en la representación de Box-Whisker (figura 11), se observa un aumento creciente de los niveles de lunes a miércoles que descienden ligeramente hasta el viernes, manteniéndose durante el fin de semana.



° Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 11. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana durante el período de muestreo.

Para un estudio más en detalle de la variación diaria a lo largo de la semana, en la tabla VII se indica una comparación entre los niveles promedios diarios de partículas PM₁₀ obtenidos los días laborales (lunes a viernes) y los fines de semana (sábado y domingo) durante el año 2010.

Los valores más altos y el número de superaciones del valor límite promedio diario tienen lugar en días laborales, existiendo una diferencia de 4 µg/m³ entre ambos períodos semanales.

Además en la tabla se clasifican las muestras en función de diferentes rangos de concentración de partículas; indicando en forma de porcentaje la diferencia clara entre ambos períodos (ver Anexo III, pág. 46-47).

Tabla VII. Comparación de los niveles de PM₁₀ en días laborales y fines de semana.

		Laborales	Fin de semana
Nº de muestras		255	103
Valor promedio diario PM ₁₀ (µg/m ³)		29	25
Valor máximo de PM ₁₀ (µg/m ³)		74	55
Valor mínimo de PM ₁₀ (µg/m ³)		7	7
Nº de superaciones del valor límite diario		8	2
<i>Porcentaje*</i>			
N I V E L E S	> 20 µg/m ³	79,2 (56,4)	61,2 (17,6)
	> 25 µg/m ³ (UEI)	55,7 (39,7)	41,7 (12,0)
	> 30 µg/m ³	37,6 (26,8)	23,3 (6,7)
	> 35 µg/m ³ (UES)	22,4 (15,9)	11,7 (3,4)
	> 40 µg/m ³	12,5 (8,9)	4,9 (1,4)
	> 50 µg/m ³ (valor límite diario)	3,1 (2,2)	1,9 (0,6)

*Porcentaje referido al número de muestras de cada período y entre paréntesis referido al total de muestras

NIVELES DE PM_{10} , $PM_{2.5}$ Y PM_1 SEGÚN ESPECTRÓMETRO LÁSER

Como se ha comentado al principio de este estudio en el apartado de metodología, se ha muestreado simultáneamente con un espectrómetro láser GRIMM obteniendo valores para las tres fracciones granulométricas PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_1 . Este equipo solamente ha estado operativo entre febrero y octubre. Aunque este método de medida en continuo no es método de referencia^{3,9} aporta una ventaja adicional ya que posibilita la realización de un seguimiento en base horaria de los niveles registrados de partículas y poder establecer relaciones de los niveles de inmisión con las emisiones en el entorno y los escenarios meteorológicos.

El método de referencia gravimétrico proporciona la información sobre los niveles de PM registrados con varios días de retraso respecto al método de medida en continuo, y además la medida gravimétrica tiene un período de integración de 24 h. Sin embargo, los métodos de medida en tiempo real permiten obtener los registros con carácter inmediato, lo cual es de vital importancia a la hora de establecer el correcto diagnóstico y aportar información a la población en caso de necesidad. Además, la resolución horaria de la medida permite la identificación de procesos y fuentes de emisión con impacto en la calidad del aire. Por estos motivos la mayor parte de las estaciones de control de la calidad de aire en la UE utilizan técnicas automáticas de medida de contaminantes.

Existe un protocolo para comparar el método en continuo con el equipo de referencia y obtener un factor de corrección (ver Anexo II, pág. 44). Los niveles medios mensuales y el promedio anual de las tres fracciones granulométricas se muestran en la tabla VIII. *En este apartado se indican los valores obtenidos directamente sin aplicarles el factor de corrección calculado de 1,45 para PM_{10} .*

Tabla VIII. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas para el año 2010 (enero, noviembre y diciembre no hay datos por fallo en el equipo).

	PM_{10}	$PM_{2.5}$	PM_1
	$(\mu\text{g}/\text{m}^3)$		
Enero	-	-	-
Febrero	16	13	9
Marzo	19	15	10
Abril	22	18	13
Mayo	20	15	10
Junio	24	14	13
Julio	16	13	8
Agosto	13	11	7
Septiembre	18	15	10
Octubre	16	14	10
Noviembre	-	-	-
Diciembre	-	-	-
Media Anual	16	14	10

Tal y como se ha comentado al inicio de este informe en el RD 102/2011⁶ se establecen unas pautas para regular los niveles de PM_{2,5} con el objetivo de reducir la exposición a la población de dichas partículas y establecer un valor objetivo anual para 2010 de 25 µg/m³, que posteriormente se convertirá en valor límite en el año 2015 e incluso podrá ser reducido a 20 µg/m³ a la luz de una mayor información acerca de los efectos de la salud. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y “suponiendo” el mismo factor gravimétrico de 1,45 calculado para PM₁₀, el valor promedio anual de PM_{2,5} en el punto de muestreo sería de 20,3 µg/m³.

En la figura 12 se indica al evolución del promedio mensual para cada fracción en donde se observa variación estacional en cuanto a los niveles de las tres fracciones PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁, observando las diferencias claras entre primavera/verano y otoño/invierno. La alta contribución de partículas con diámetros inferiores a 2,5 µm al PM₁₀ es muy similar en los primeros meses del año, sin embargo sufre un aumento a partir de los meses de julio, agosto, septiembre y octubre.

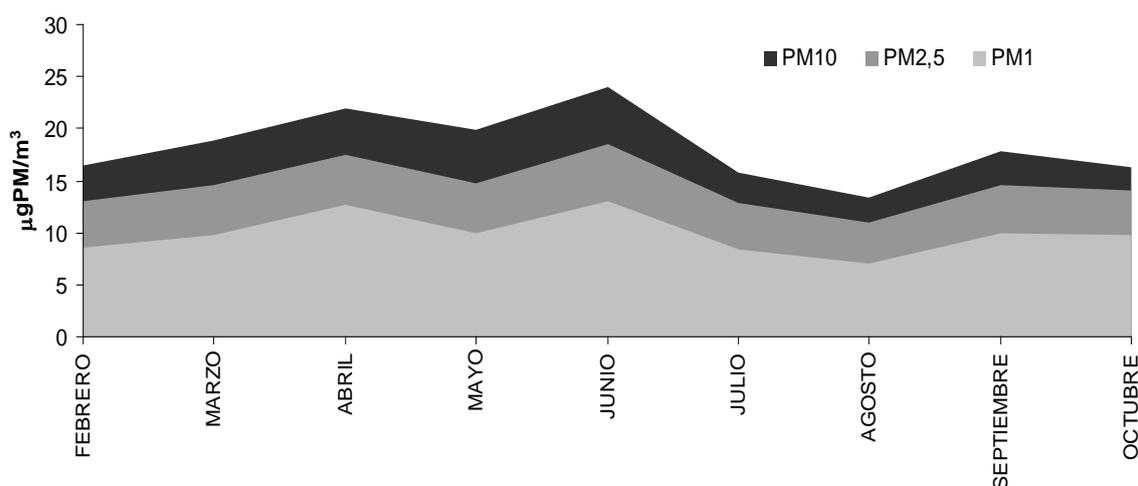


Figura 12. Evolución mensual de los niveles de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ durante el año 2010 (enero, noviembre y diciembre no hay datos por fallo en el equipo).

La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. Durante el período de muestreo el 81% de la fracción de PM_{10} está constituida por $PM_{2,5}$ y un 66% de ésta por PM_1 (tabla IX), valores considerablemente superiores a los obtenidos en los años 2007-2008, fundamentalmente para la ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$.

Tabla IX. Valores de los ratios entre las diferentes fracciones granulométricas en el año 2010
(enero, noviembre y diciembre no hay datos por fallo en el equipo).

	$PM_{2,5}/PM_{10}$	$PM_1/PM_{2,5}$	PM_1/PM_{10}
Enero	-	-	-
Febrero	0,80	0,65	0,52
Marzo	0,78	0,66	0,52
Abril	0,80	0,70	0,56
Mayo	0,77	0,66	0,50
Junio	0,78	0,68	0,53
Julio	0,85	0,65	0,55
Agosto	0,83	0,63	0,53
Septiembre	0,82	0,67	0,55
Octubre	0,86	0,66	0,57
Noviembre	-	-	-
Diciembre	-	-	-
Anual	0,81	0,66	0,54

Otra manera de ver esta variación es de forma gráfica y así en la figura 13 (A) se presenta la evolución de los ratios entre las diferentes fracciones granulométricas a lo largo de los meses de muestreo, observando entre un 5-7% de variación a lo largo de todo el período.

En la figura 13 (B) se puede observar la proporción relativa de cada fracción al nivel total de PM_{10} . Aquí las variaciones son mayores a lo largo del año, aproximadamente un 35% para el rango $PM_{10-2,5}$; 23% para el rango PM_{10-1} y 13% para el rango más fino $PM_{2,5-1}$. Además se observa cómo ha aumentado la contribución de la fracción inferior a $2,5\mu m$ en los meses de febrero y a partir de julio.

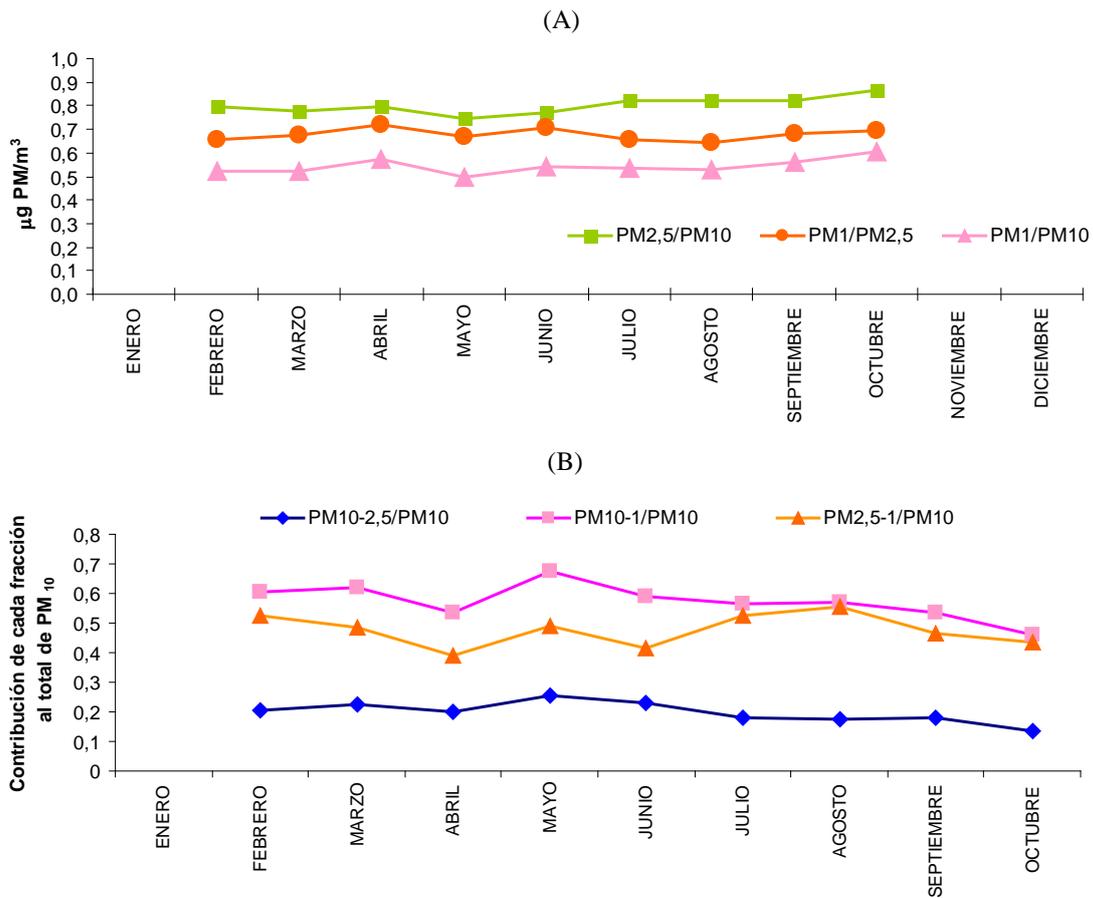
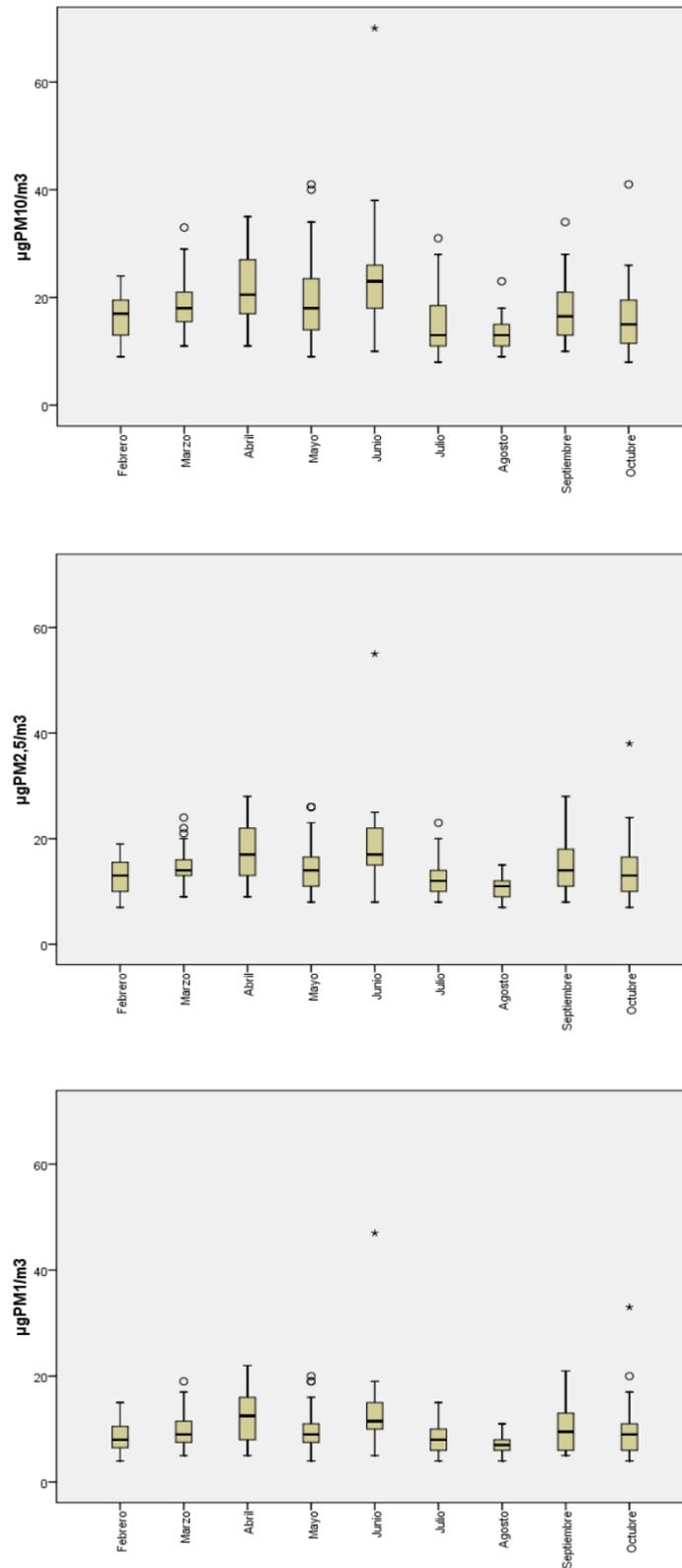


Figura 13. Evolución mensual de las ratios de las tres fracciones granulométricas y de los rangos de materia particulada durante el año 2010 (enero, noviembre y diciembre no hay datos por fallo en el equipo)

En las gráficas de Box-Whisker (figura 14) en donde se observa la dispersión de los niveles durante el período de muestreo. Observando que las variaciones en PM_{10} obtenidas con el procedimiento automático sigue la misma evolución que las obtenidas con el método gravimétrico (ver figura 5, pág. 14). Las mayores variaciones se producen en los meses de abril, junio septiembre y octubre para las tres fracciones granulométricas.



° Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 14. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de las fracciones granulométricas desde enero a octubre del año 2010.

A continuación y para hacer un estudio con más detalle se presenta en la figura 15 la evolución de la media diaria de las tres fracciones granulométricas, observando la evolución de las mismas a lo largo de los días de muestreo y en la cual se puede observar la variabilidad tanto en los niveles totales de cada fracción como en el porcentaje relativo que contribuye cada una de ellas al total de PM_{10} .

Como se observa en las gráficas un aumento en los niveles de PM_{10} va siempre va acompañado de aumento en los niveles de las fracciones finas $PM_{2,5}$ y PM_1 , sin embargo el aumento no siempre es proporcional para todas las fracciones, lo que sugiere que al aumento de los niveles de partículas de las tres fracciones granulométricas contribuyen fuentes de diferente naturaleza.

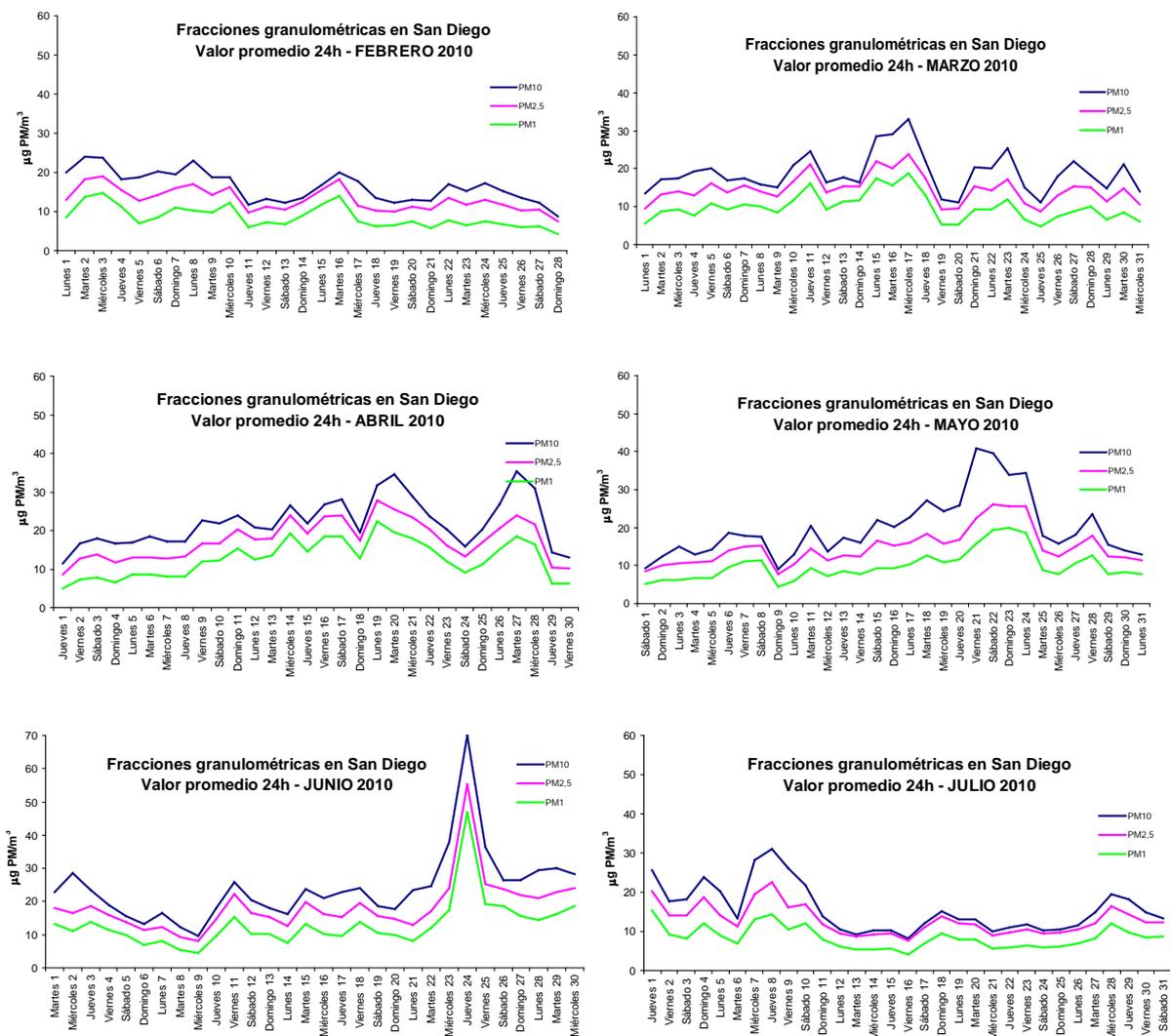


Figura 15. Evolución de la media diaria de material particulado (PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1) de febrero a octubre del año 2010. (continúa)

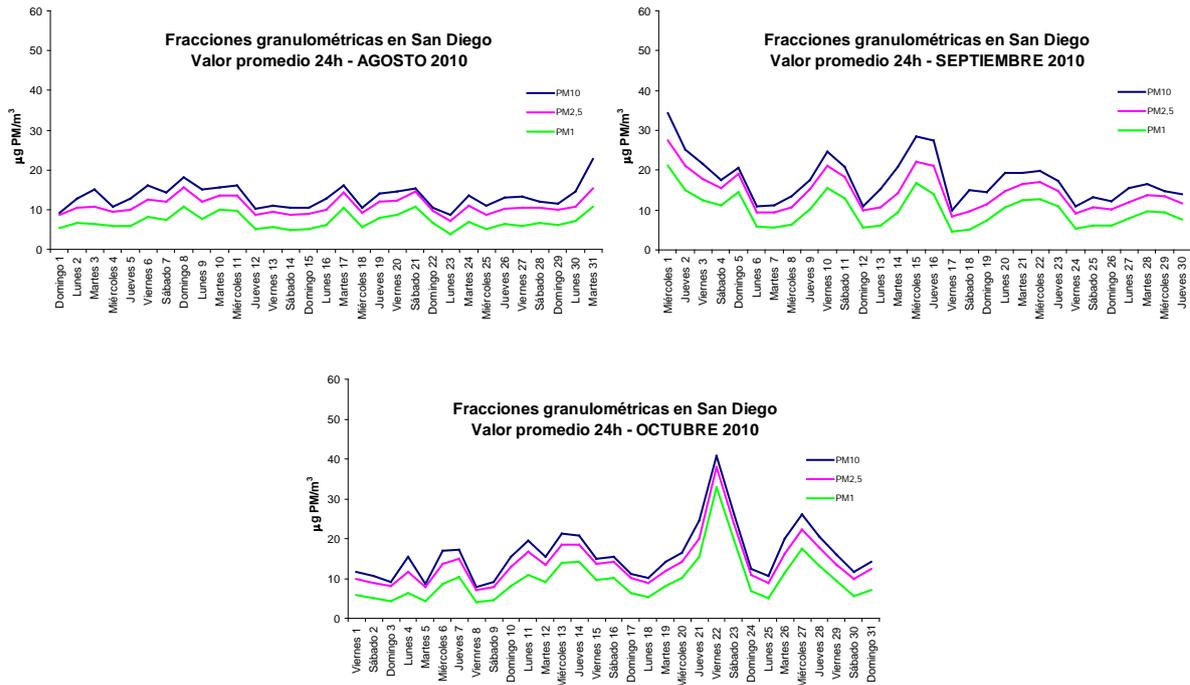
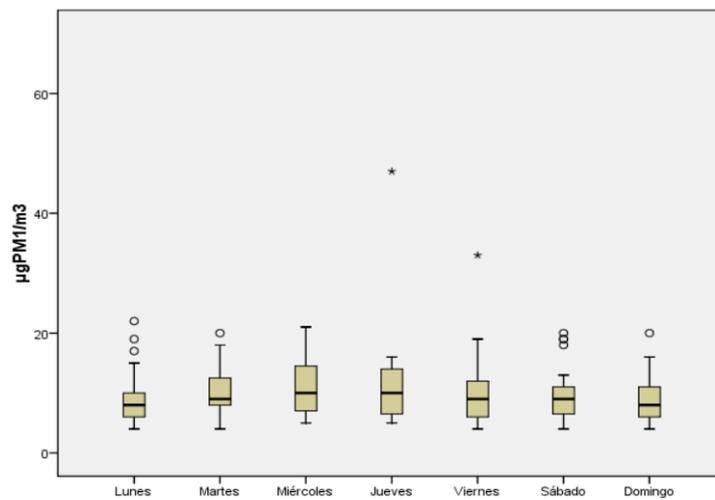
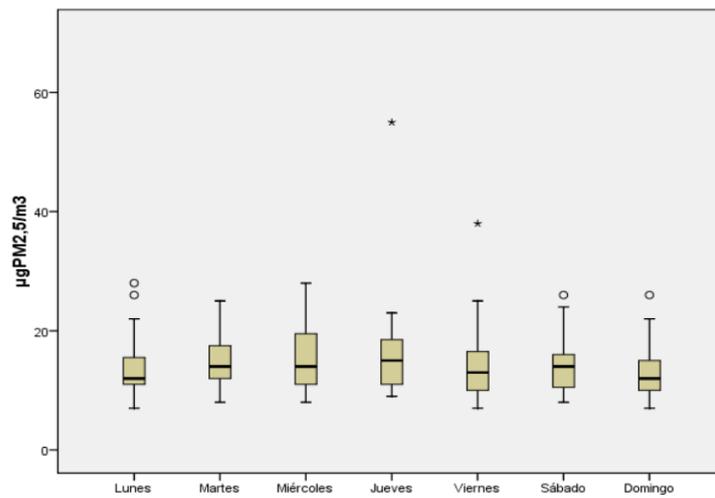
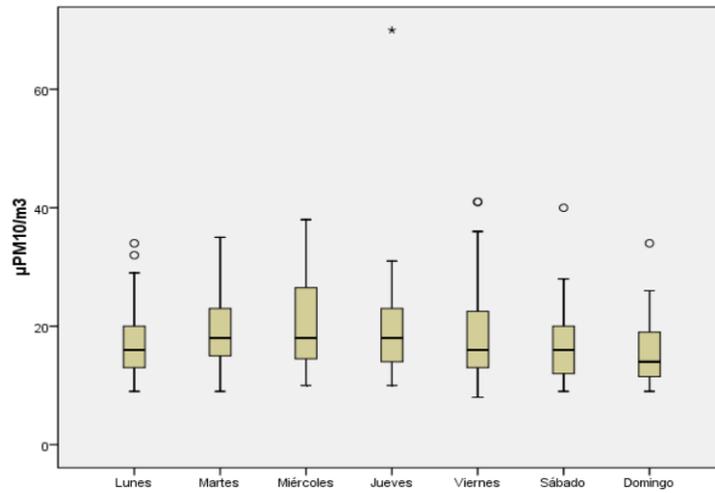


Figura 15. Evolución de la media diaria de material particulado (PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁) de febrero a octubre 2010.

Para un estudio más exhaustivo sería conveniente disponer de un inventario de las posibles fuentes de emisión cercanas, conocer los niveles de ciertos gases contaminantes, y de otros datos de variables meteorológicas como dirección y velocidad de viento, temperatura.

Las representaciones de Box-Whisker de la figura 16 indican la variabilidad existente para las tres fracciones según el día de la semana. La ligera disminución observada para los niveles de PM₁₀ durante los fines de semana no se observa para las otras dos fracciones granulométricas más finas PM_{2,5} y PM₁.



° Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.
 * Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 16. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios en función del día de muestreo de las fracciones granulométricas de febrero a octubre de 2010.

En la figura 17 se representan las series temporales de los niveles medios horarios de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 en los que se puede observar la variación horaria de los niveles de las diferentes fracciones granulométricas para cada uno de los días de muestreo.

No existe un patrón horario común a lo largo de todos los días de muestreo, corroborando que existen diferentes fuentes posibles de emisión de materia particulada a la atmósfera con influencia en el punto de muestreo y/o que las fuentes que las emiten no lo hacen de una manera continua.

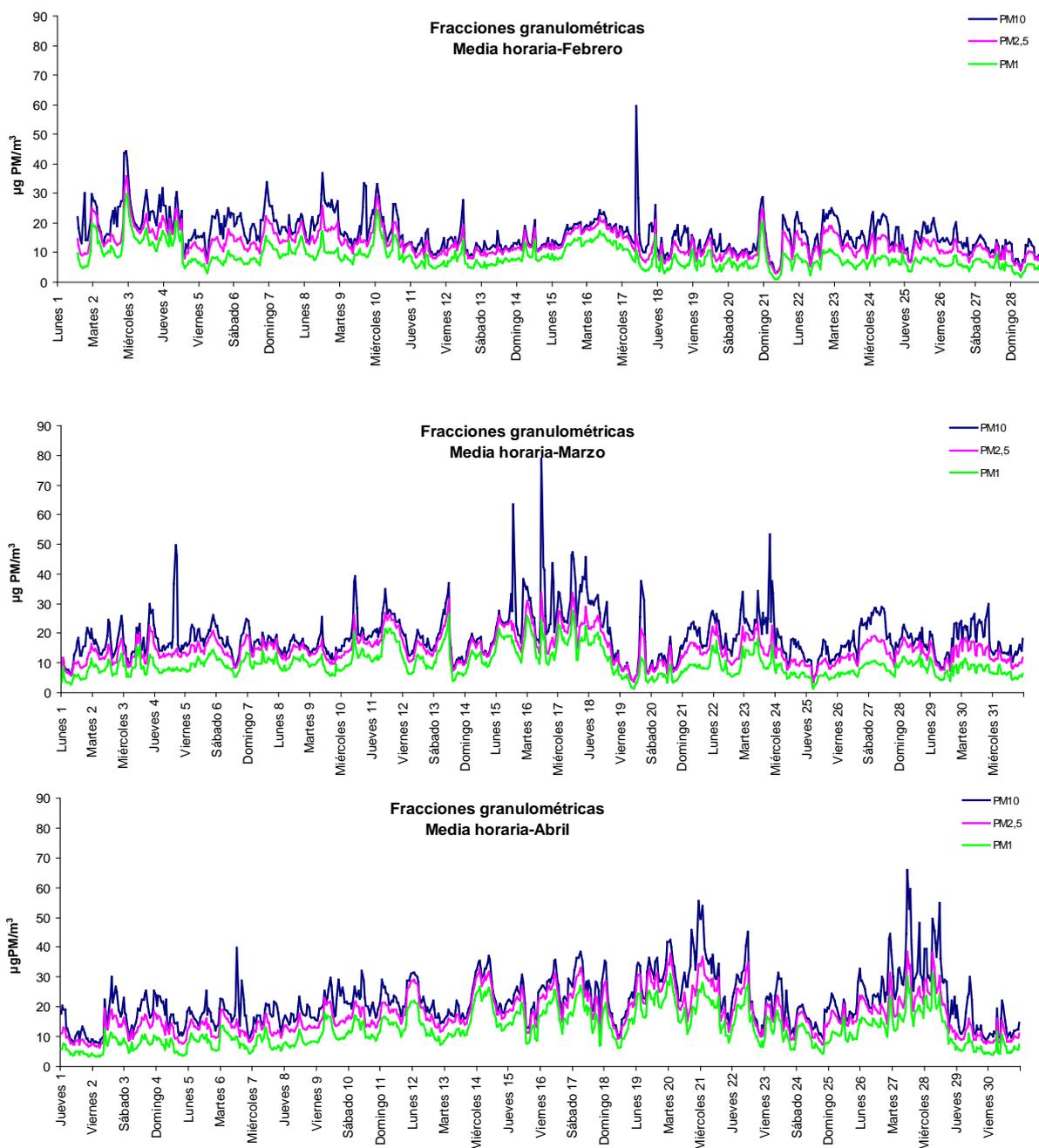


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 año 2010. (continúa)

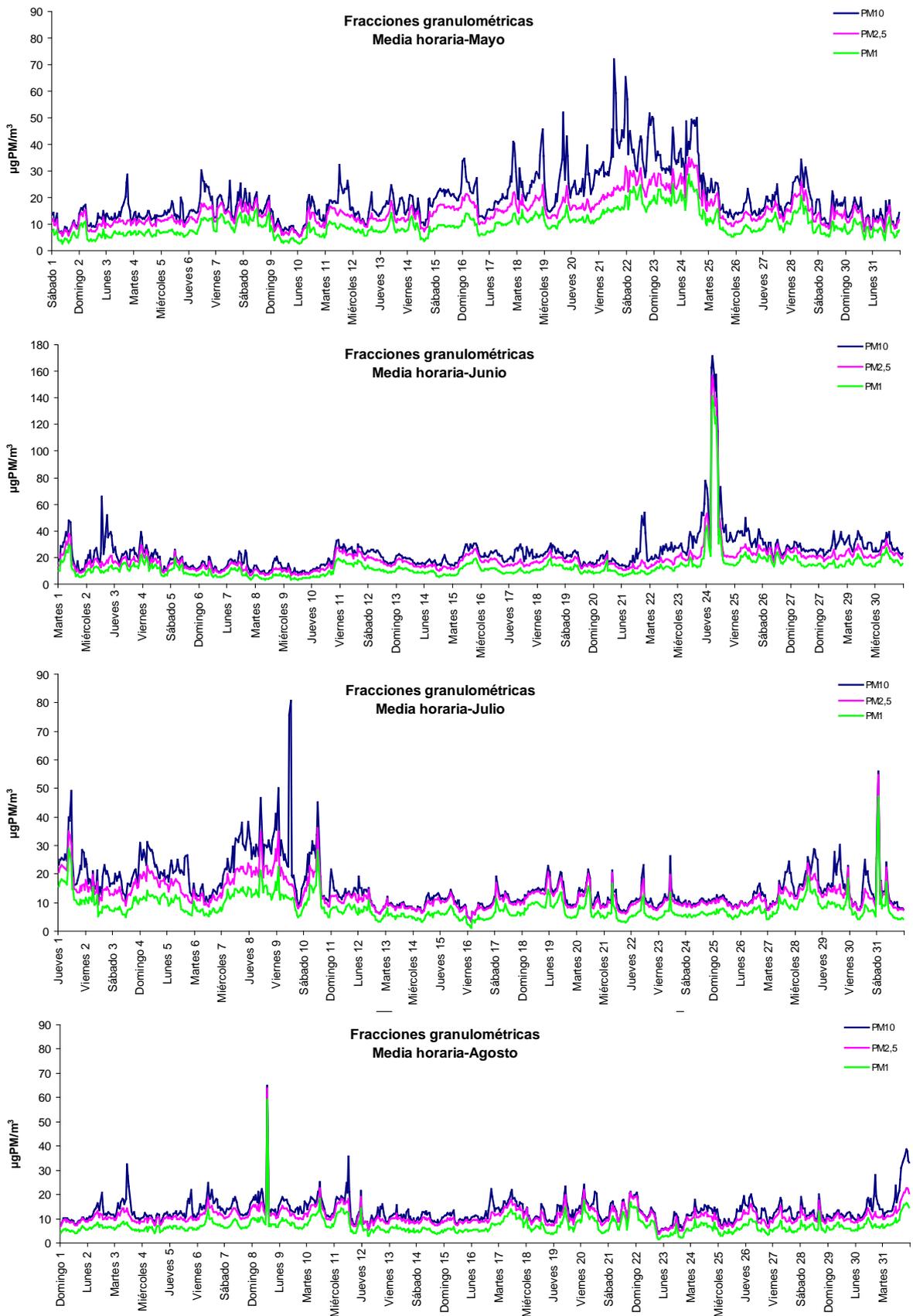


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_1 año 2010.
(continúa)

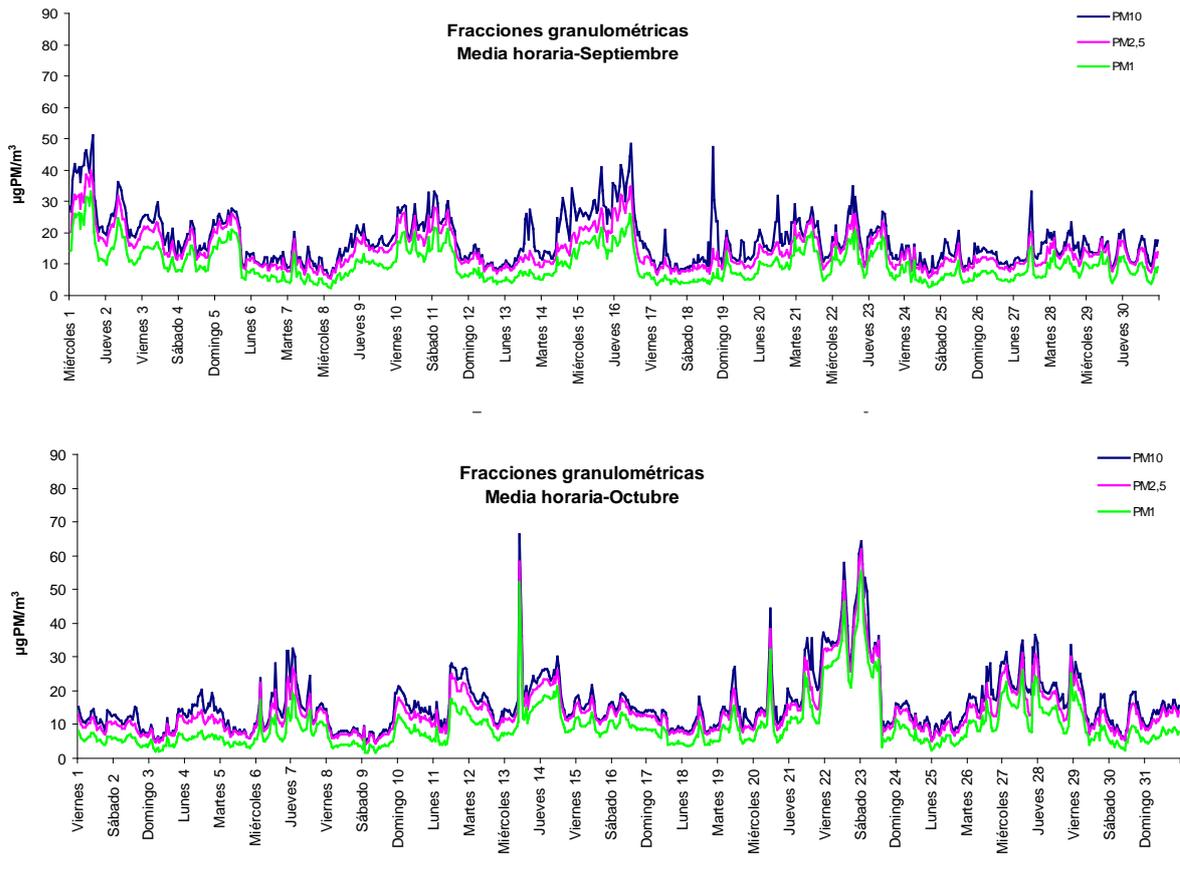
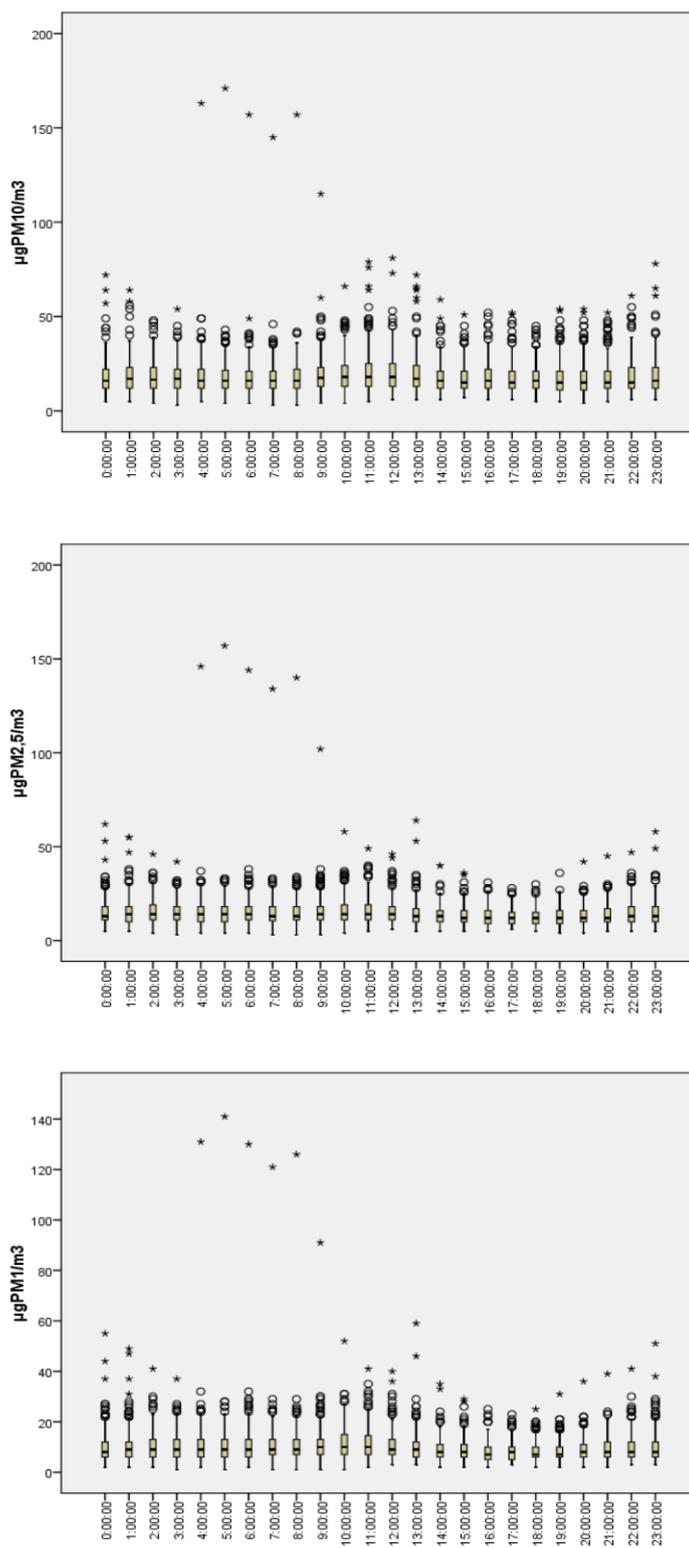


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_1 año 2010.

Para comprobar si existe algún patrón en cuanto a la variación de la granulometría en función de las horas del día se han representado las gráficas de Box-Whisker en las que se presenta la evolución de la media horaria a lo largo de todos los días (figura 18).



° Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 18. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios horarios de las tres fracciones granulométricas desde febrero a octubre de 2010.

En la figura 19 se observa cómo las tres fracciones sufren variaciones a lo largo del día con valores máximos entre las 8h-14h de la mañana, con un ligero aumento desde las 20h hasta las 23h de la noche en que empiezan a disminuir. También se observa cómo la fracción $PM_{10-2,5}$ y por lo tanto la fracción PM_{10-1} son las que más variación sufren mientras que la moda fina $PM_{2,5-1}$ prácticamente permanece sin muchos cambios durante las horas del día. Por ello las ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ y PM_1/PM_{10} son mayores durante la noche y la ratio $PM_1/PM_{2,5}$ se mantiene prácticamente constante a lo largo del día.

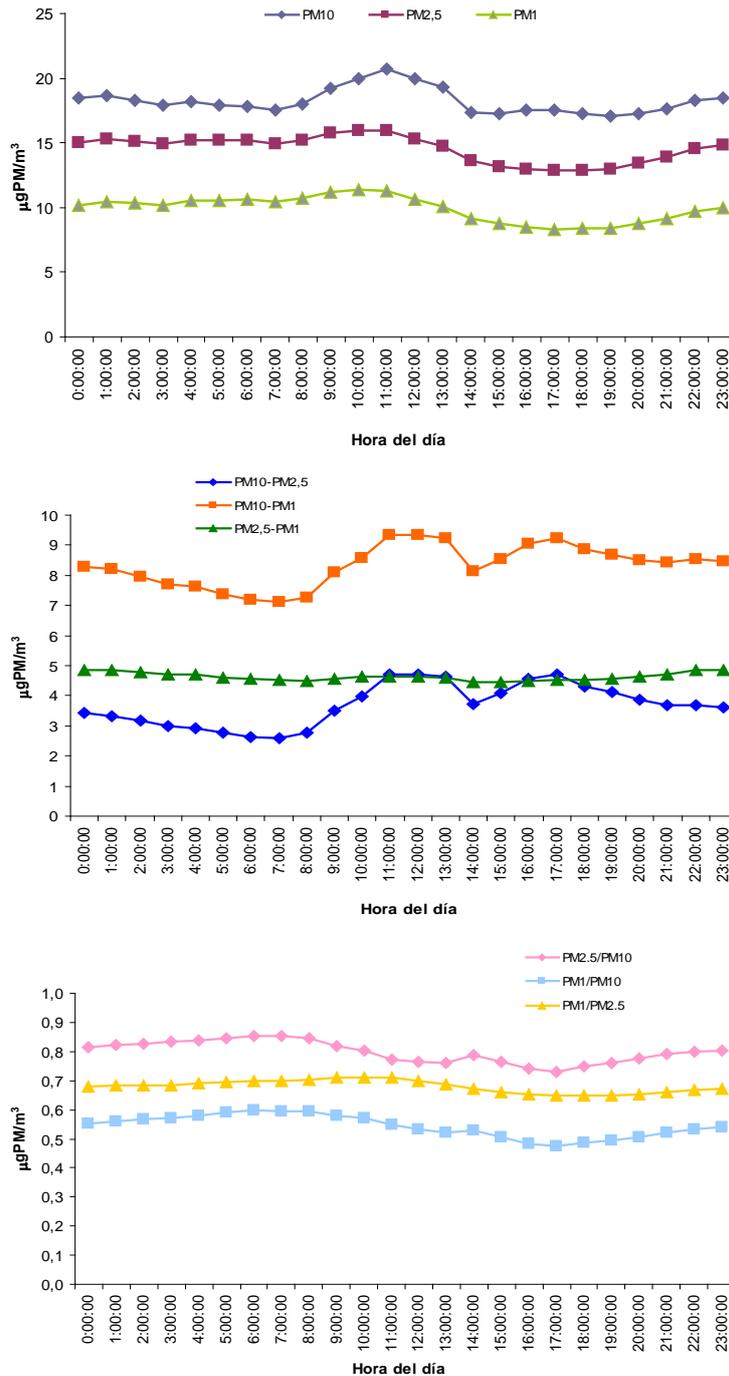


Figura 19. Evolución de los niveles medios horarios a lo largo del día de las tres fracciones granulométricas y sus ratios en el año 2010.

CONCLUSIONES

- Se han determinado los niveles diarios de PM₁₀ en la zona de Os Castros durante el año 2010. Se han recogido un total de 358 muestras que representan una cobertura anual del 98%.
- El valor promedio anual de PM₁₀ ha sido de 28 µg/m³ no superando el valor límite permitido por la normativa de 40 µg/m³.
- El valor límite diario de 50 µg/m³ se ha superado en 10 días. Valor alejado de 35 superaciones como máximo por año fijado en la Directiva 50/2008 y RD 102/2011.
- Entre los meses de mayo, junio y septiembre se producen 7 superaciones del valor límite diario que representan el 70% del total de superaciones ocurridas durante 2010; mientras que en los meses de abril, julio y octubre se producen 3 que representan el 30% del total.
- Los valores máximos diarios con valores de 64 y 61 µg/m³, se producen en mayo y octubre respectivamente, con la excepción de los 74 µg/m³ alcanzados en junio (noche de San Juan). En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 7 µg/m³ de los meses de octubre y diciembre y los 18 µg/m³ de los meses de abril y julio.
- La tendencia estacional de la concentración de PM₁₀ en el punto de muestreo refleja los valores promedios diarios los valores más altos de marzo a julio (primavera y comienzos de verano) y de septiembre a noviembre (otoño) resultando los meses de invierno y el mes de agosto los que presentan valores inferiores. También hay que observar la diferente variabilidad para cada mes.
- El 2,8 % del total de muestras supera el valor límite diario de PM₁₀ de 50 µg/m³, un 10,3% del total de muestras superan los 40 µg/m³, un 33,5% superan los 30 µg/m³ y un 74% superan los 20 µg/m³.
- En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 19,3% de las muestras (69 muestras) superan el umbral de evaluación superior de 35 µg/m³ y un 51,7% (185 muestras) superan el umbral de evaluación inferior de 25 µg/m³.

- Los niveles medios mensuales de PM_{10} oscilan entre los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de diciembre y los $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de junio.
- Existe variabilidad semanal en los niveles de PM_{10} observándose una ligera disminución los fines de semana. Un 55,7% de las muestras durante los días laborales y un 41,7% para los fines de semana superan el UEI. Sin embargo el UES es superado en un 22,4% los días laborales y en un 11,7% los fines de semana.
- Para poder estimar qué fuentes producen un aumento de los niveles de partículas es necesario un estudio más exhaustivo y disponer de más información como datos meteorológicos y de contaminantes gaseosos en el punto de muestreo y también en zonas de fondo urbano y suburbano para poder determinar ciertos episodios de contaminación a larga distancia, etc.

ANEXO I.- GRÁFICOS DE CONTROL DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DE LA SALA DE BALANZAS PARA LA PESADA DE LOS FILTROS CON MATERIA PARTICULADA PM₁₀

Siguiendo los requisitos de las Normas UNE-EN 12341 y UNE-EN 14907:2006, los filtros de fibra de cuarzo se acondicionan durante 48 horas antes de la pesada y previamente al muestreo, a una temperatura de $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ y $50\pm 5\%$ humedad relativa. En las figuras 20 y 21 se indican los registros tanto de humedad relativa como de temperatura de la sala de balanzas durante todo el año. La pesada de los filtros ha sido realizada cuando la sala de balanzas estaba en condiciones bajo control.

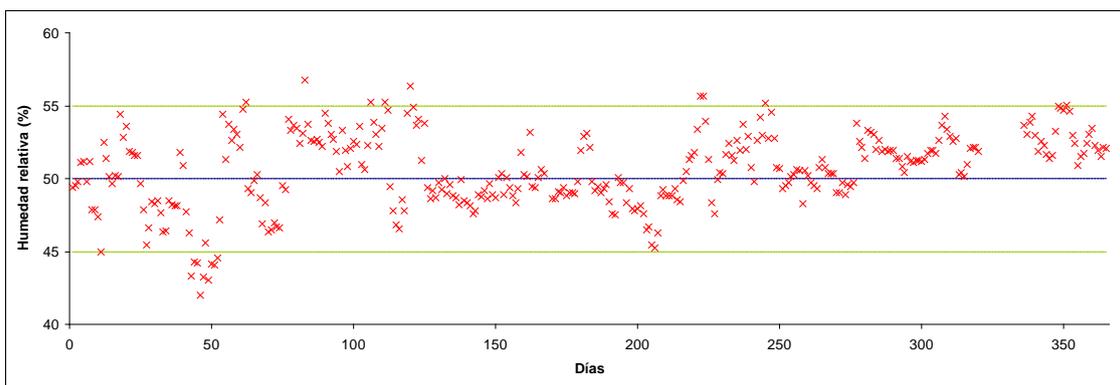


Figura 20. Carta de control del % de humedad relativa en la sala de balanzas.

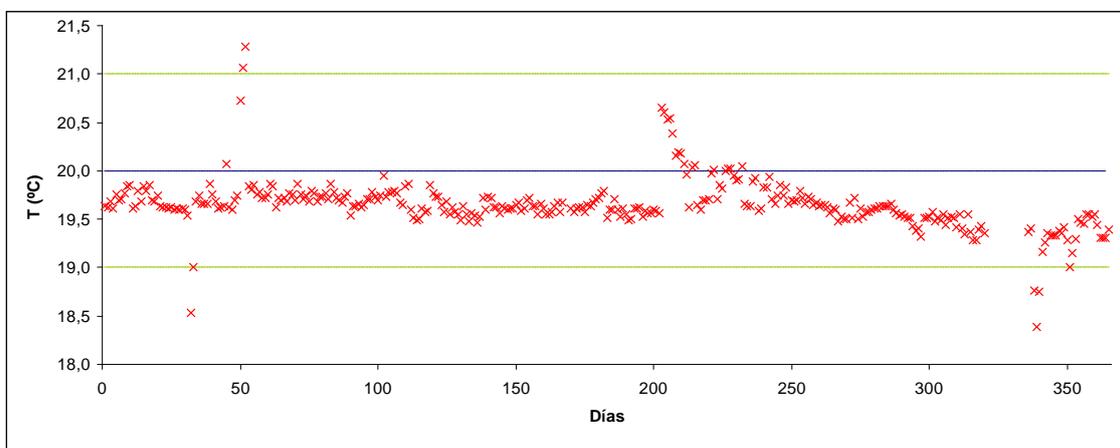


Figura 21. Carta de control de la temperatura (°C) en la sala de balanzas.

ANEXO II.- INTERCOMPARACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO LÁSER CON EL EQUIPO GRAVIMÉTRICO

La Directiva 1999/30/CE¹¹ establece las metodologías y técnicas para medir los niveles de partículas, bien utilizando la instrumentación del método de referencia o utilizando equipos que puedan demostrar su equivalencia a un instrumento de referencia. En este estudio se siguieron las recomendaciones del Grupo de Trabajo de la Comisión Europea sobre material particulado expuestas en la “Guía para los Estados Miembros sobre medidas de PM₁₀ e intercomparación con el método de referencia” para calcular el factor de corrección que hay que aplicar a las medidas del monitor. Esta información¹² está disponible y se puede descargar de la siguiente página web: <http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/finalwgreportes.pdf>.

Para ello y tal y como se comentó anteriormente se muestreó de manera simultánea con el Digitel (equipo que ha demostrado la equivalencia) y el GRIMM (método automático). En este estudio, se han utilizado 179 medidas válidas (figura 22) y únicamente valores cuya media fue >10 µg/m³ de PM₁₀ (la normativa establece un mínimo de 30 medidas continuadas):

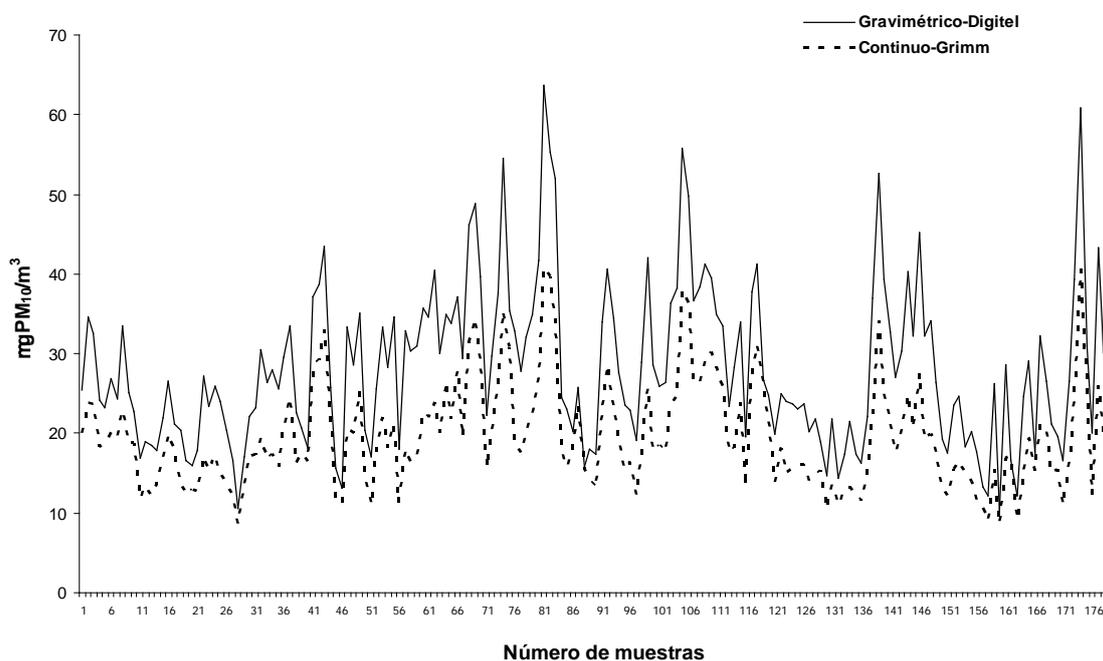


Figura 22. Comparación de las medias diarias obtenidas por el método automático (Grimm) y por el método gravimétrico (Digitel).

¹¹ Directiva Europea de calidad del aire 30/CE de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.

¹² Grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre material particulado atmosférico. Guía para los Estados Miembros sobre medidas de PM₁₀ e intercomparación con el método de referencia.

Posteriormente se comparan las concentraciones de PM₁₀ obtenidas por los dos procedimientos lo que permite obtener una regresión con $r^2 \geq 0.8$ y una constante en valor absoluto inferior o igual a 5. Posteriormente se calcula el coeficiente de correlación (figura 23). En el caso de que los factores ó ecuaciones obtenidos en los dos períodos estacionales (verano/invierno) sean iguales o muy similares se podría utilizar un único factor para todo el año. Sin embargo, si hay mucha diferencia entre ambos factores, no se podría aplicar ninguno de ellos ni la media entre ambos para todo el periodo anual.

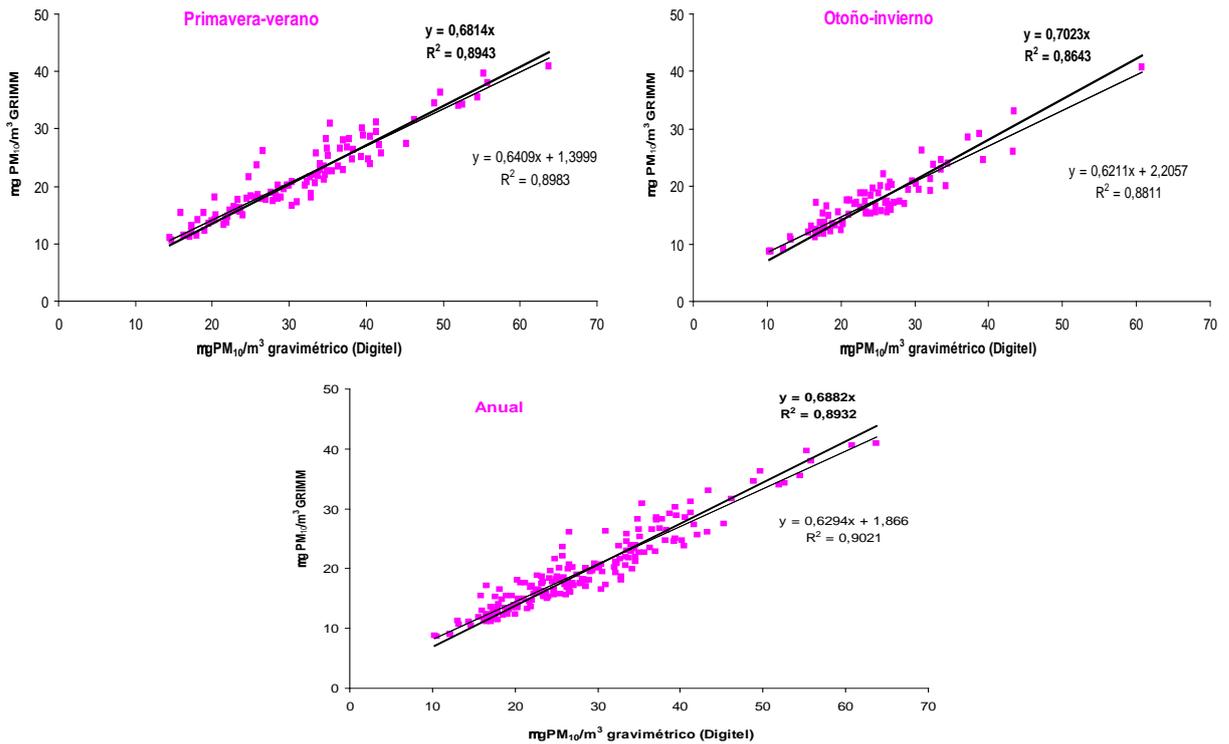


Figura 23. Correlación entre el equipo automático (espectrómetro láser) y el equipo gravimétrico (Digitel) en el punto de muestreo.

Se considera de aplicación un único factor cuando se cumpla que la diferencia entre las medias diarias, una vez corregidas, con cada uno de los dos factores estacionales obtenidos, sea $<10\%$. En nuestro caso (tabla X) el factor ha sido de 1,47 para la primavera/verano y de 1,43 para el otoño/invierno, por lo tanto se utilizará el factor promedio que resulta ser 1,45.

Tabla X. Factor gravimétrico.

Mes	Factor
Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre)	1,47
Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 29 de octubre y desde 1 de febrero hasta el 20 de marzo)	1,43
MEDIA ANUAL	1,45

ANEXO III.- GRÁFICAS DE LOS NIVELES DE PARTÍCULAS PM₁₀ PARA LOS DÍAS LABORABLES Y FINES DE SEMANA (método gravimétrico)

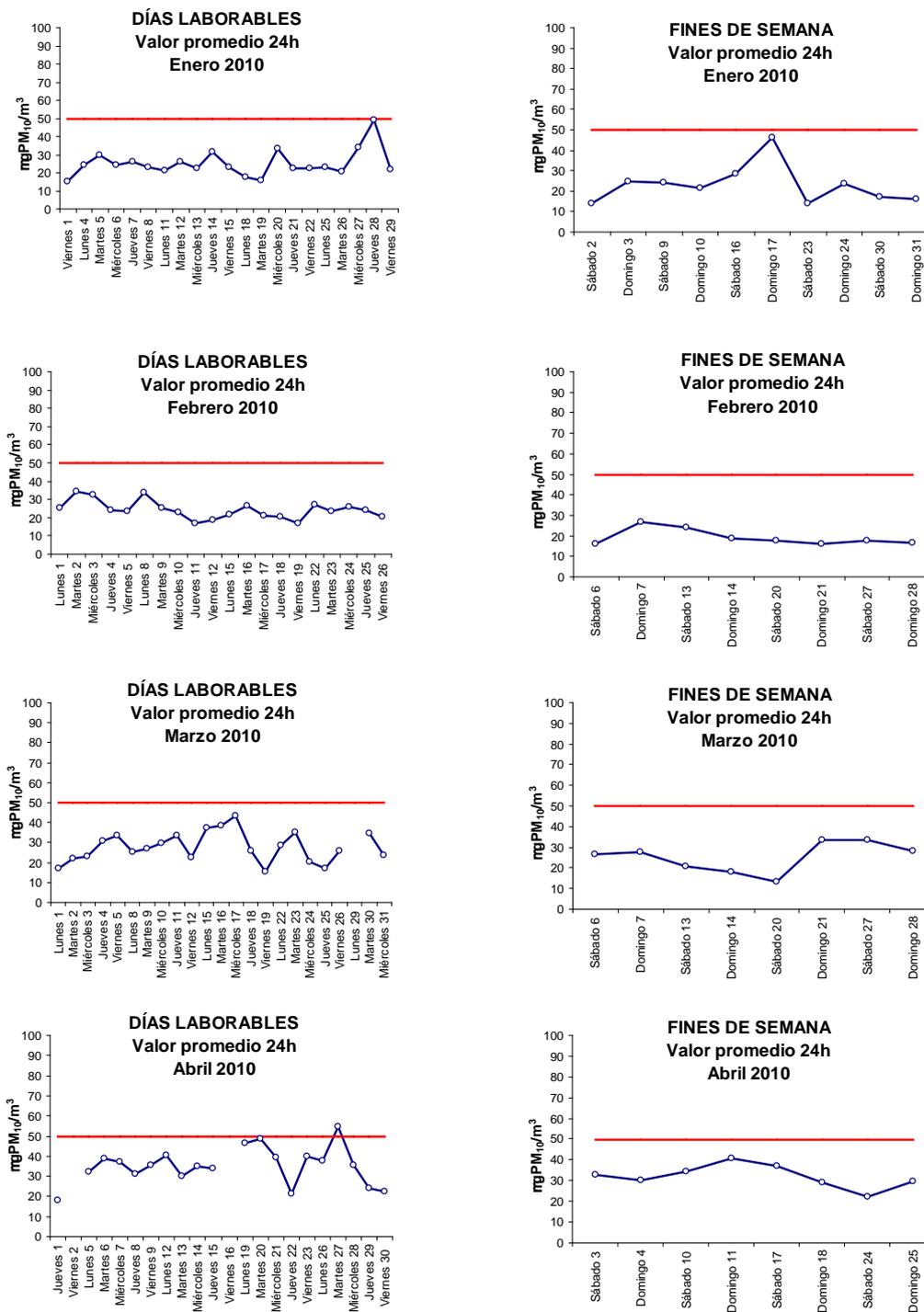


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2010. (continúa)

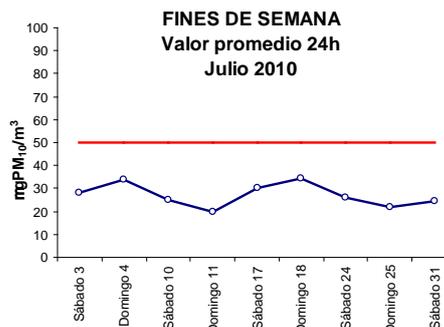
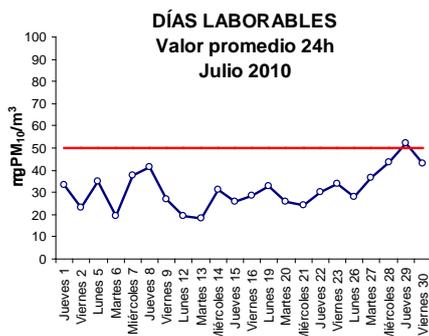
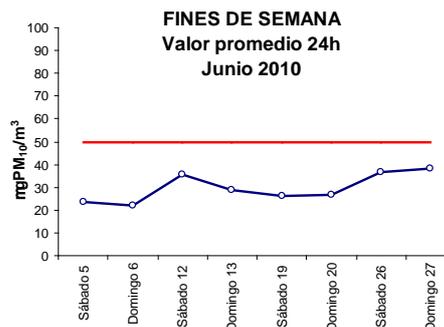
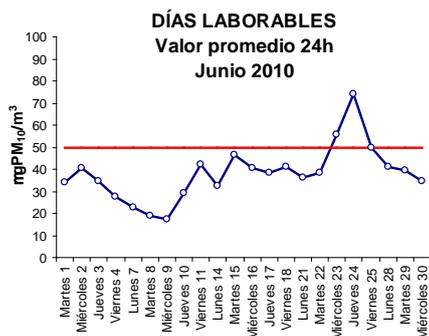
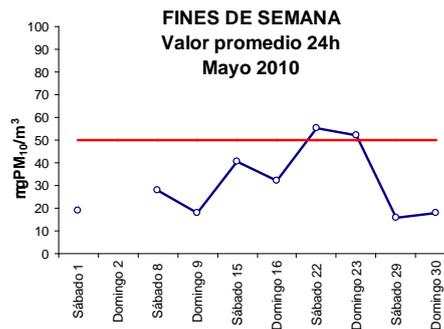
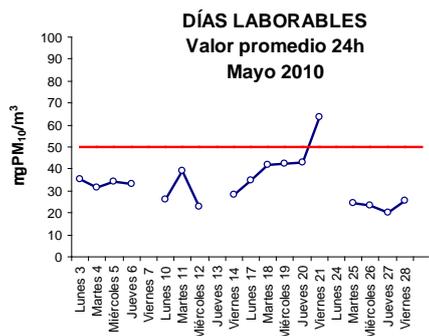


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2010. (continúa)

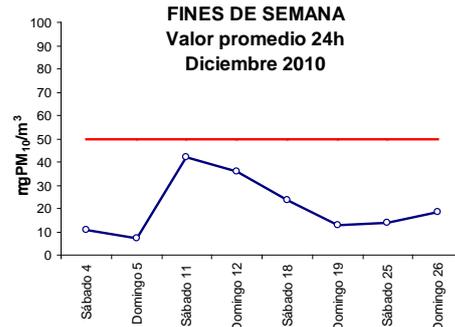
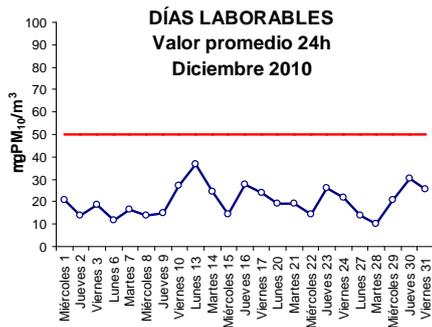
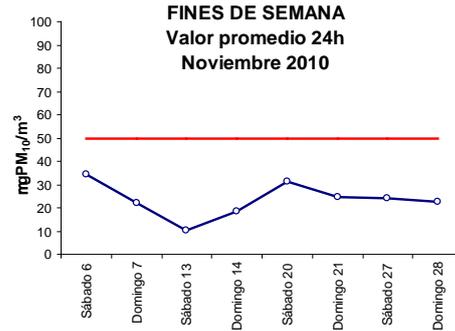
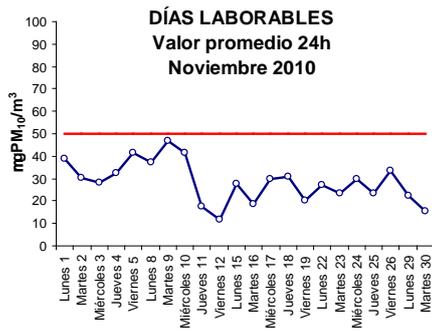
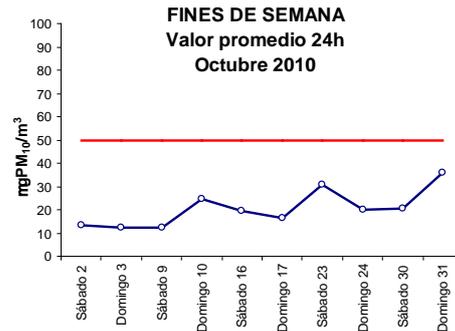
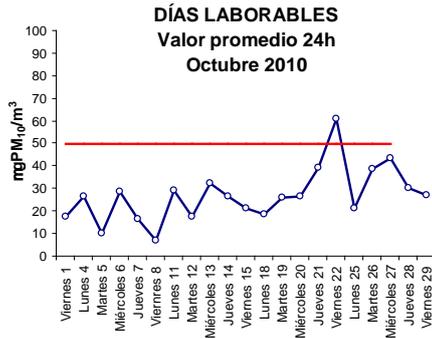
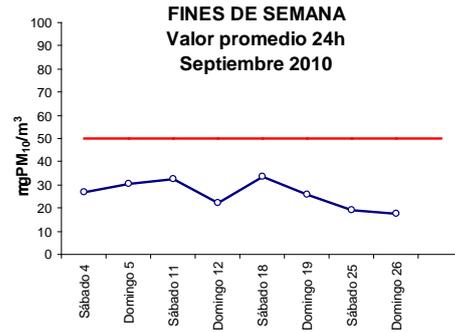
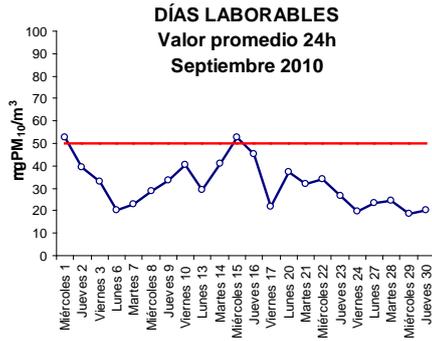


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2010.

ANEXO IV.- ORIGEN DE LAS MASAS DE AIRE

Se ha realizado un estudio del origen de las masas de aire a partir del cálculo de las retrotrayectorias con el modelo HYSPLIT 4 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)^{13,14}, distinguiendo ocho sectores (figura 25).

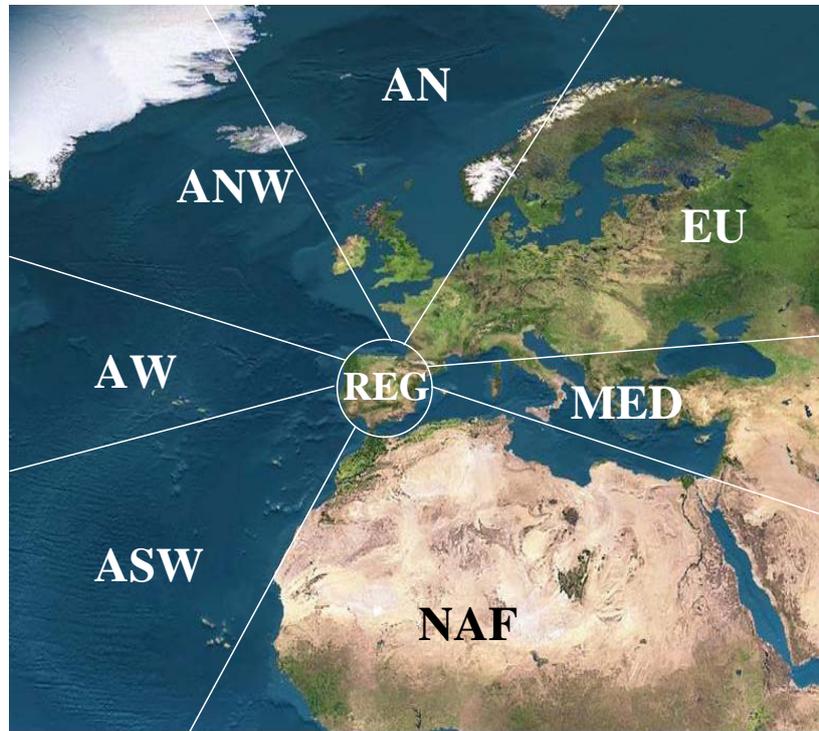


Figura 25. Clasificación del origen de las masas de aire : AN (Atlántico Norte), ANW (Atlántico Noroeste), AW (Atlántico Oeste), ASW (Atlántico Suroeste), NAF (Norte de África), ME (Mediterráneo), EU (Europa Central), REG (Recirculación regional).

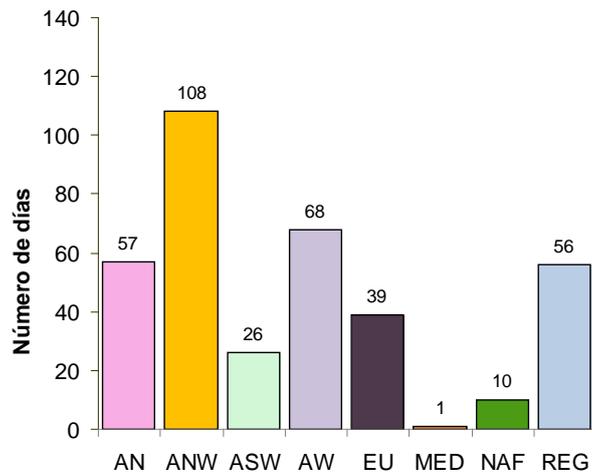
En la figura 26 (A) se indica el número de días con influencia de masas de aire de diferente origen, observando que aproximadamente el 71% de los días existió un claro predominio del transporte de masas de aire procedentes de diversos sectores del Atlántico, seguido de un 15,3% de componente regional, un 10,7% de componente europeo, un 2,7 de componente africano y un 0,3% de componente mediterráneo.

En la figura 26 (B) se indica el porcentaje de días dentro de cada mes según el origen de las masas de aire y así indicar la evolución estacional de los escenarios de transporte.

¹³ Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2003. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

¹⁴ Rolph, G.D., 2003. Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

(A)



(B)

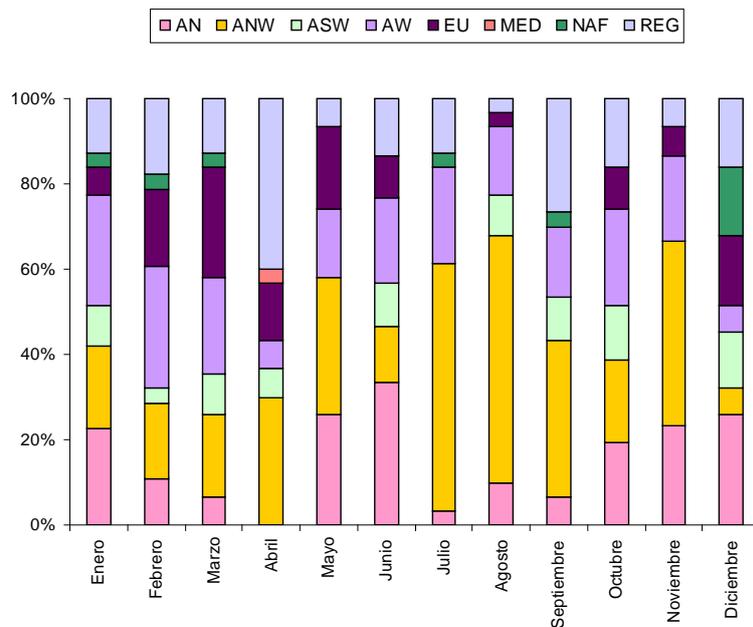


Figura 26. Origen de las masas de aire en A Coruña determinado a partir del cálculo de retrotrayectorias de las masas de aire: (A) Número de días (B) Frecuencia a lo largo del año.

Para poder estimar cual es la influencia de las masas de aire en el nivel de partículas se requiere un estudio más exhaustivo y detallado, así como para poder identificar el aporte de materia particulada durante episodios de transporte a larga distancia como las intrusiones de aire sahariano, combustión de biomasa, etc.

ANEXO V.- COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS PARA LOS AÑOS AÑO 2007-2010

NIVELES DE PM₁₀ SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

Tabla XI. Resumen global de las muestras recogidas durante el período 2007-2010.

	2007*	2008*	2009	2010
Nº muestras recogidas	288	330	360	358
% de muestras relativas a año civil	79	90,4	99	98
VALOR MÁXIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m ³)	71	85	77	74
VALOR MÍNIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m ³)	12	10	10	7
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 µg/m ³	28	27	12	10
% SUPERACIONES con respecto al número total de muestras	9,7	8,2	3,3	2,8
VALOR MEDIO ANUAL de PM₁₀ (µg/m³)	32	29	27	28

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 13 de marzo.

** en el año 2008 se comenzó el 1 de enero pero no se muestreó entre el 13 de marzo y el 16 de abril.

Tabla XII. Valores promedio diarios máximo y mínimo mensual durante el período 2007-2010.

	Máximo mensual (µg/m ³)				Mínimo mensual (µg/m ³)			
	2007*	2008**	2009	2010	2007*	2008**	2009	2010
Enero	-	81	39	49	-	-	10	14
Febrero	-	85	69	35	-	-	10	11
Marzo	71	54	61	43	14	35	17	13
Abril	71	48	49	54	14	44	12	18
Mayo	43	60	41	64	14	27	17	16
Junio	61	56	77	74	13	28	12	17
Julio	41	37	36	52	12	24	12	18
Agosto	52	41	34	37	12	29	14	14
Septiembre	71	45	66	53	15	30	18	17
Octubre	57	63	53	61	24	40	11	7
Noviembre	44	39	54	47	17	30	15	10
Diciembre	60	60	48	42	16	38	13	7

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 13 de marzo.

** en el año 2008 se comenzó el 1 de enero pero no se muestreó entre el 13 de marzo y el 16 de abril.

Tabla XIII. Valores medios mensuales y número de superaciones por mes el período 2007-2010.

	Media mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)				Número de superaciones			
	2007*	2008**	2009	2010	2007*	2008**	2009	2010
Enero	-	38	24	24	-	9	0	0
Febrero	-	38	32	23	-	7	3	0
Marzo	35	31	34	27	2	1	3	0
Abril	44	26	24	34	13	0	0	1
Mayo	27	25	27	32	0	1	0	3
Junio	28	28	28	36	2	2	1	2
Julio	24	21	20	30	0	0	0	1
Agosto	29	23	23	22	1	0	0	0
Septiembre	30	28	34	30	3	0	3	2
Octubre	40	33	26	25	2	0	1	1
Noviembre	30	24	29	27	0	4	1	0
Diciembre	38	31	24	20	5	0	0	0

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 13 de marzo.

** en el año 2008 se comenzó el 1 de enero pero no se muestreó entre el 13 de marzo y el 16 de abril.

En la figura 27 se indica la comparativa del total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional entre 2007-2009 refleja los valores más altos en el invierno y al inicio de la primavera, siendo menores en el resto de la primavera y verano, sin embargo en este año 2010 los valores más altos se producen desde marzo hasta julio y de septiembre a octubre.

También se puede observar la variabilidad dentro de cada estación y para cada año; debida en parte a las diferentes precipitaciones ocurridas en los tres años de muestreo tal y como se representa en la figura 28.

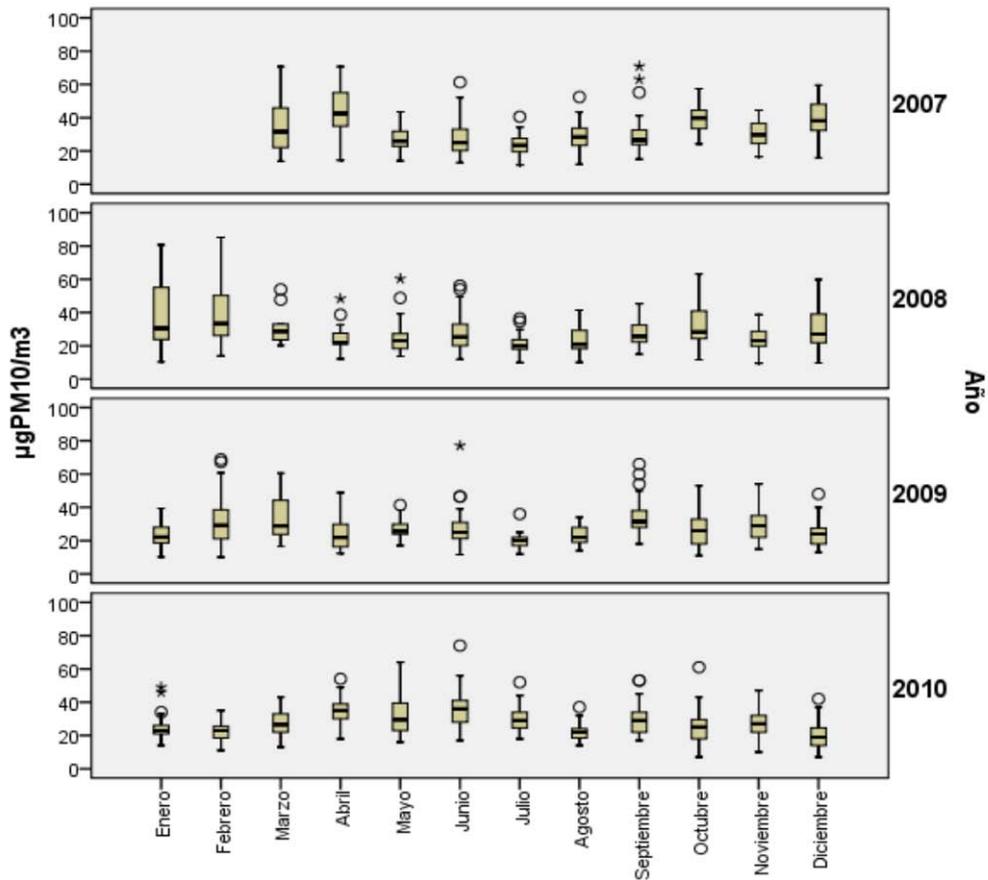


Figura 27. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo desde el año 2007 a 2010.

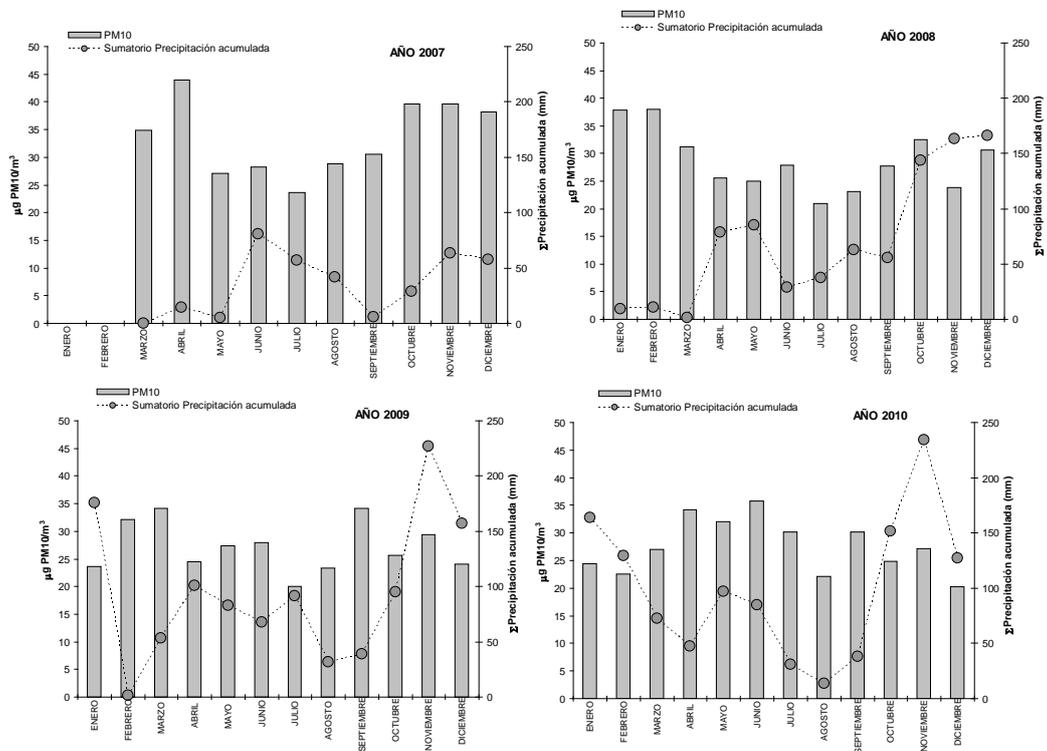


Figura 28. Niveles promedio mensuales de PM₁₀ y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2010.

En la figura 29 se indica la distribución de los niveles de PM₁₀ según el día de la semana en donde se observa que los niveles diarios aumentan ligeramente de lunes a viernes disminuyendo los fines de semana.

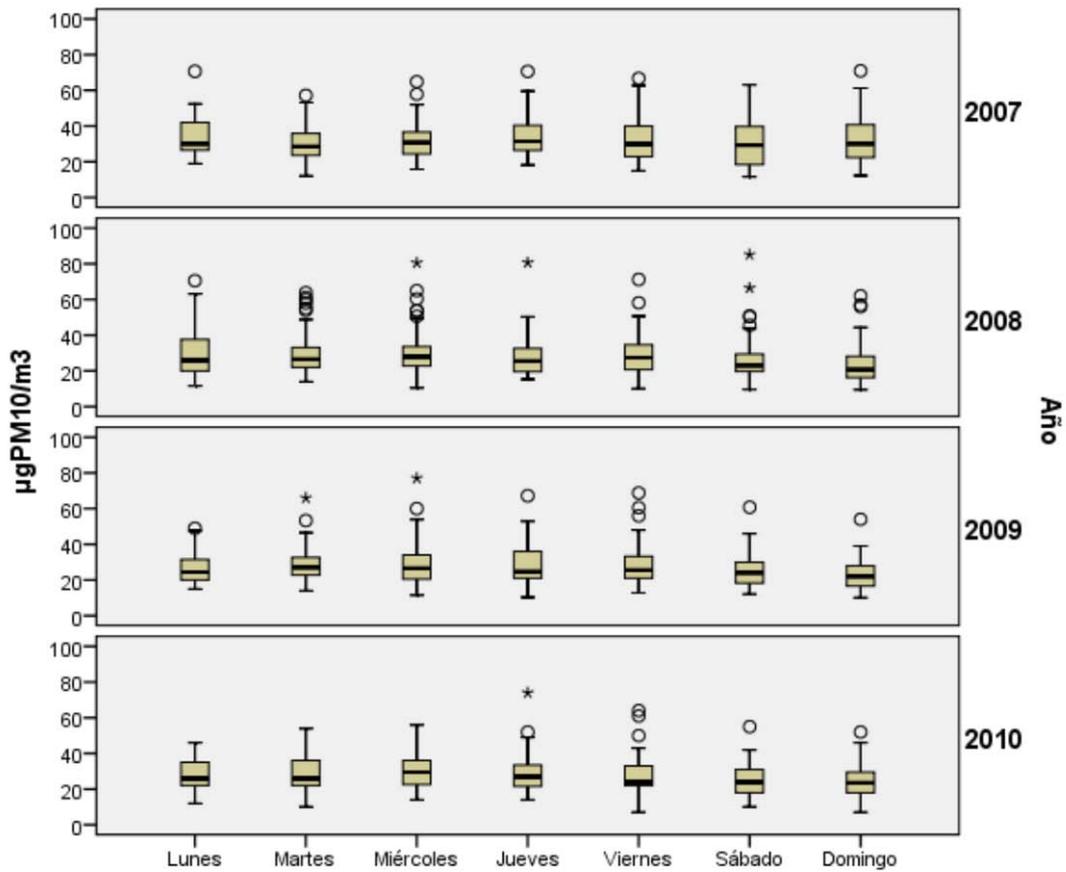


Figura 29. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana desde el año 2007 a 2010.

NIVELES DE PM₁₀, PM_{2,5} Y PM₁ SEGÚN ESPECTRÓMETRO LÁSER

Dado que a lo largo del año 2009 el espectrómetro láser estuvo fuera de servicio, a continuación se presenta la comparativa relativa a los años 2007-2008 y 2010. Este año se ha observado un factor gravimétrico ligeramente superior a pesar de que el equipo estaba calibrado, hay que considerarlo con ciertas limitaciones y seguir observando su funcionamiento en el año 2011.

Tabla XIV. Factor gravimétrico.

Período	2007*	2008**	2010***
Primavera/verano	1,22	1,28	1,47
Otoño/invierno	1,31	1,22	1,43
MEDIA ANUAL	1,27	1,25	1,45

* Año 2007: Primavera/verano (desde el 10 de mayo hasta el 30 de septiembre)

Otoño/invierno (desde el 1 de octubre hasta el 31 de diciembre)

** Año 2008: Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre)

Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 20 de marzo)

*** Año 2010: Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre)

Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 29 de octubre y desde 1 de febrero hasta el 20 de marzo)

Tabla XV. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante los años 2007, 2008 y 2010.

	PM ₁₀			PM _{2,5}			PM ₁		
	2007*	2008**	2010***	2007*	2008**	2010***	2007*	2008**	2010***
Enero	-	30	-	-	22	-	-	15	-
Febrero	-	33	16	-	22	13	-	16	9
Marzo	-	22	19	-	16	15	-	10	10
Abril	-	20	22	-	15	18	-	10	13
Mayo	24	19	20	16	15	15	10	11	10
Junio	23	21	24	18	16	14	12	11	13
Julio	18	18	16	13	13	13	9	8	8
Agosto	22	19	13	16	14	11	10	10	7
Septiembre	24	21	18	18	16	15	12	11	10
Octubre	29	22	16	23	17	14	17	11	10
Noviembre	25	-	-	19	-	-	14	-	-
Diciembre	27	-	-	21	-	-	18	-	-
Media Anual	24	22	16	18	17	14	13	11	10

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

** en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

*** en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

Tabla XVI. Valores de las ratios entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007, 2008 y 2010.

	PM _{2,5} / PM ₁₀			PM ₁ / PM _{2,5}			PM ₁ / PM ₁₀		
	2007*	2008**	2010***	2007*	2008**	2010***	2007*	2008**	2010***
Enero	-	0,74	-	-	0,69	-	-	0,51	-
Febrero	-	0,68	0,80	-	0,74	0,65	-	0,50	0,52
Marzo	-	0,73	0,78	-	0,61	0,66	-	0,45	0,52
Abril	-	0,75	0,80	-	0,65	0,70	-	0,49	0,56
Mayo	0,69	0,81	0,77	0,61	0,69	0,66	0,42	0,56	0,50
Junio	0,74	0,76	0,78	0,65	0,67	0,68	0,49	0,51	0,53
Julio	0,75	0,71	0,85	0,63	0,63	0,65	0,48	0,45	0,55
Agosto	0,73	0,77	0,83	0,63	0,66	0,63	0,46	0,51	0,53
Septiembre	0,74	0,77	0,82	0,67	0,70	0,67	0,50	0,54	0,55
Octubre	0,79	0,76	0,86	0,74	0,66	0,66	0,59	0,50	0,57
Noviembre	0,78	-	-	0,71	-	-	0,56	-	-
Diciembre	0,79	-	-	0,82	-	-	0,65	-	-
Media Anual	0,75	0,75	0,81	0,69	0,67	0,66	0,52	0,50	0,54

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

** en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

*** en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

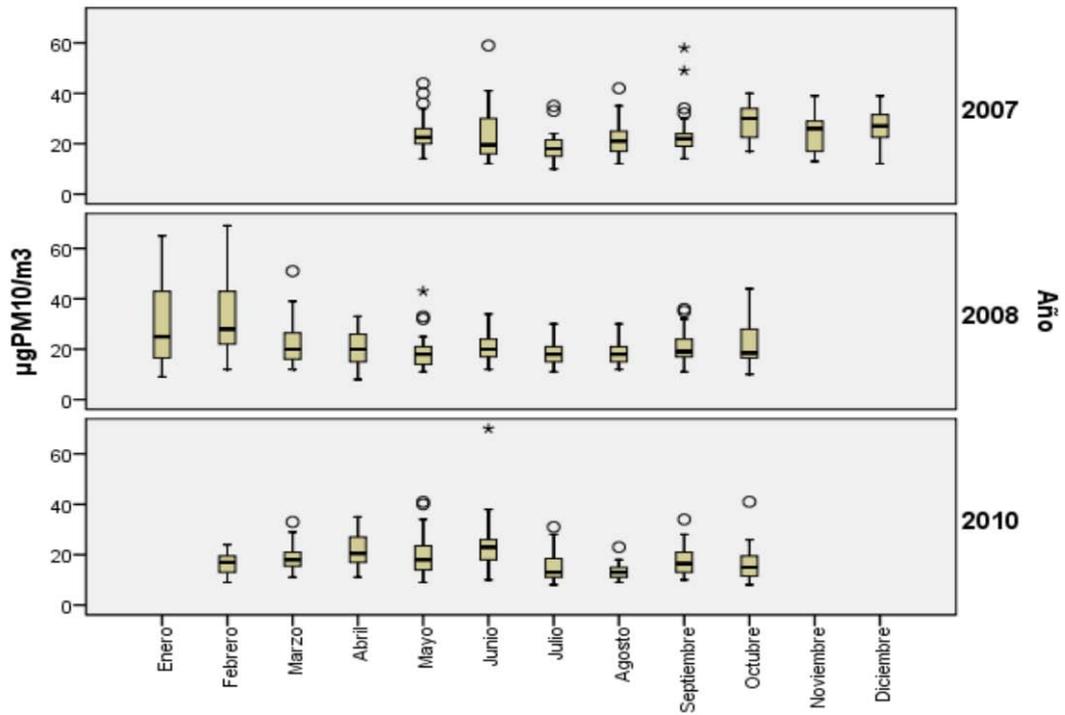


Figura 30. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM10 (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008 y 2010.

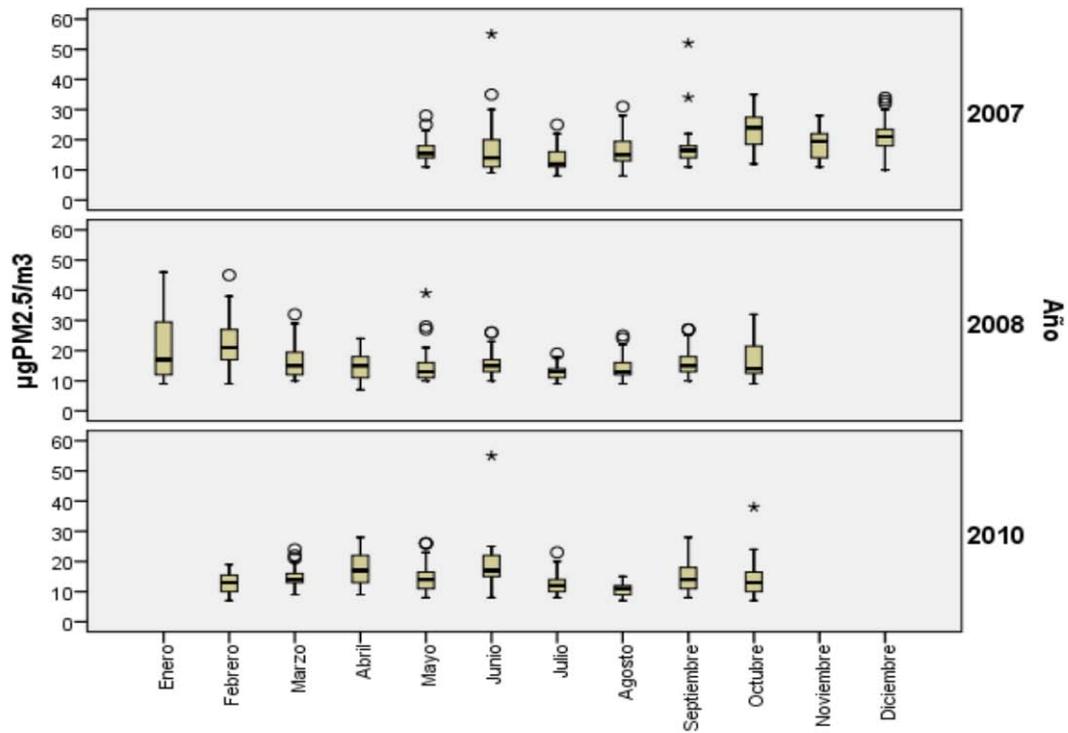


Figura 31. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM_{2.5} (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008 y 2010.

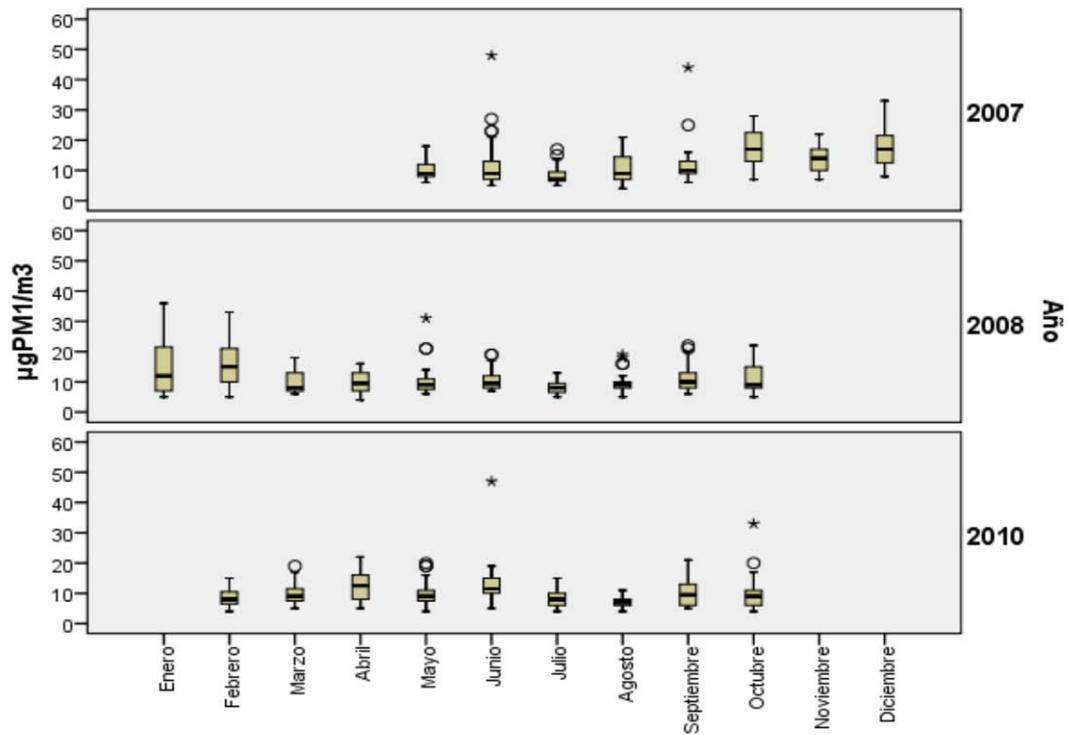


Figura 32. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM₁ (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008 y 2010.

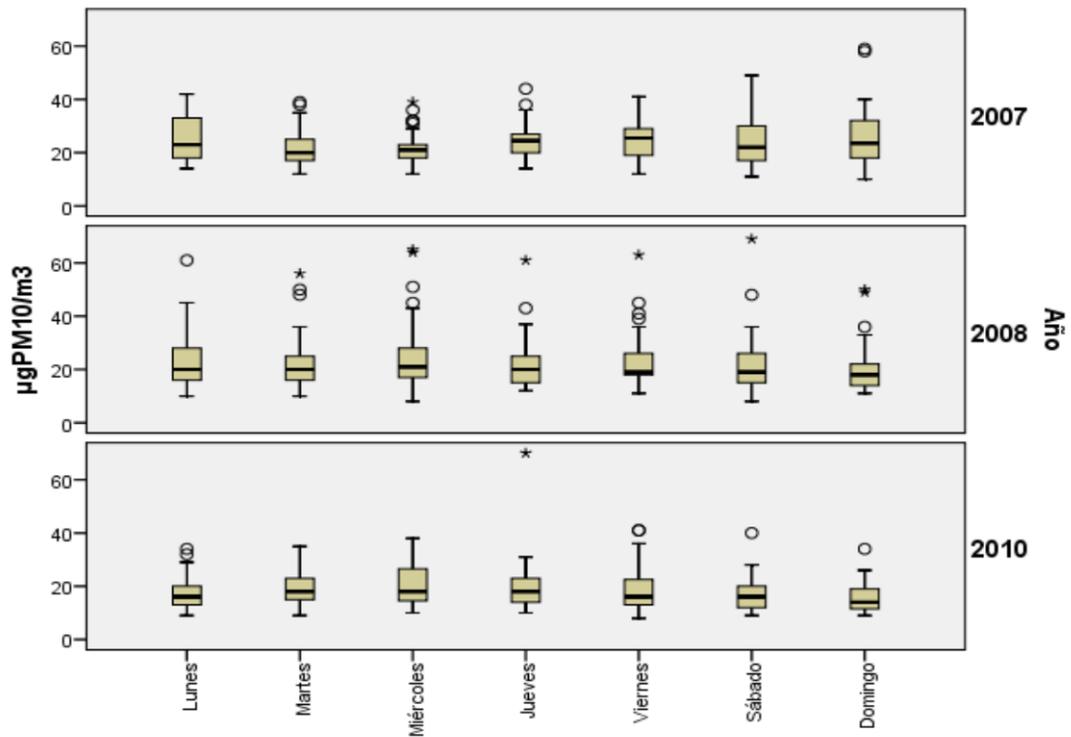


Figura 33. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM_{10} para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008 y 2010.

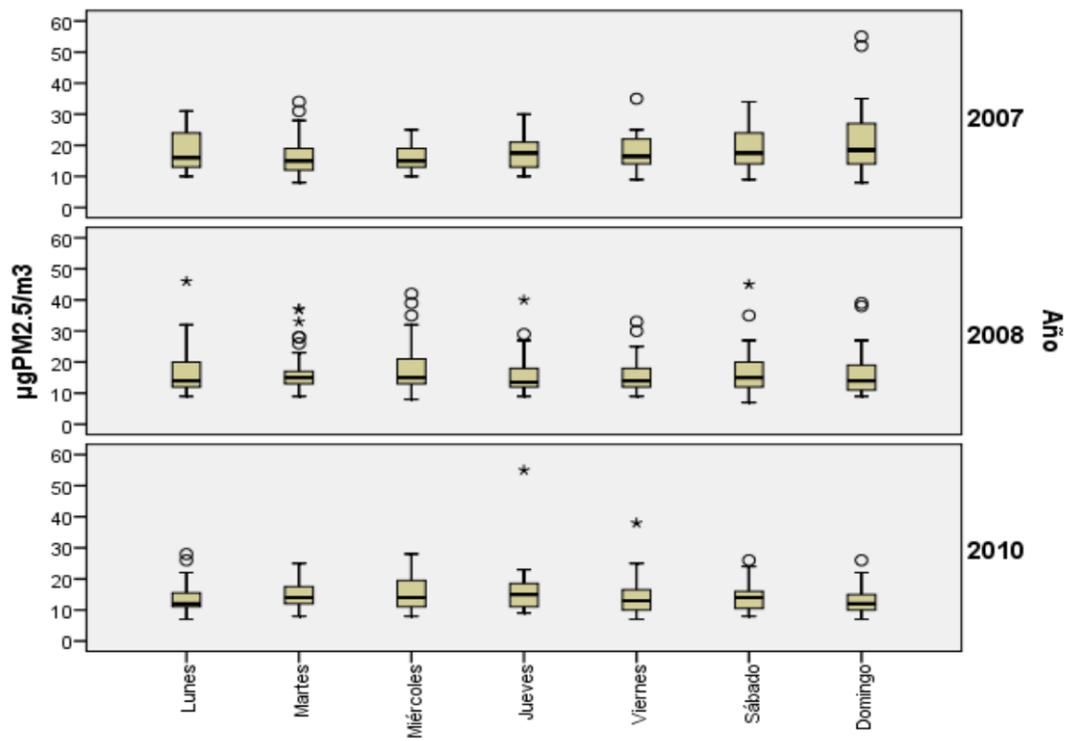


Figura 34. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM_{2.5} para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008 y 2010.

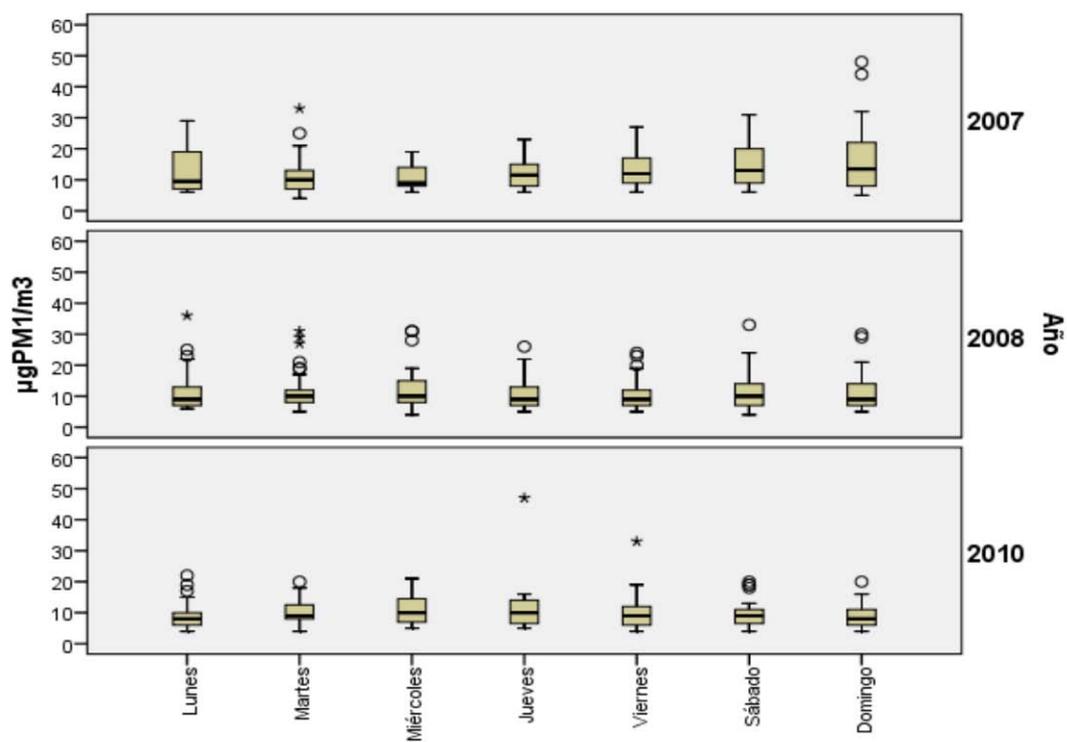


Figura 35. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM₁ para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008 y 2010.

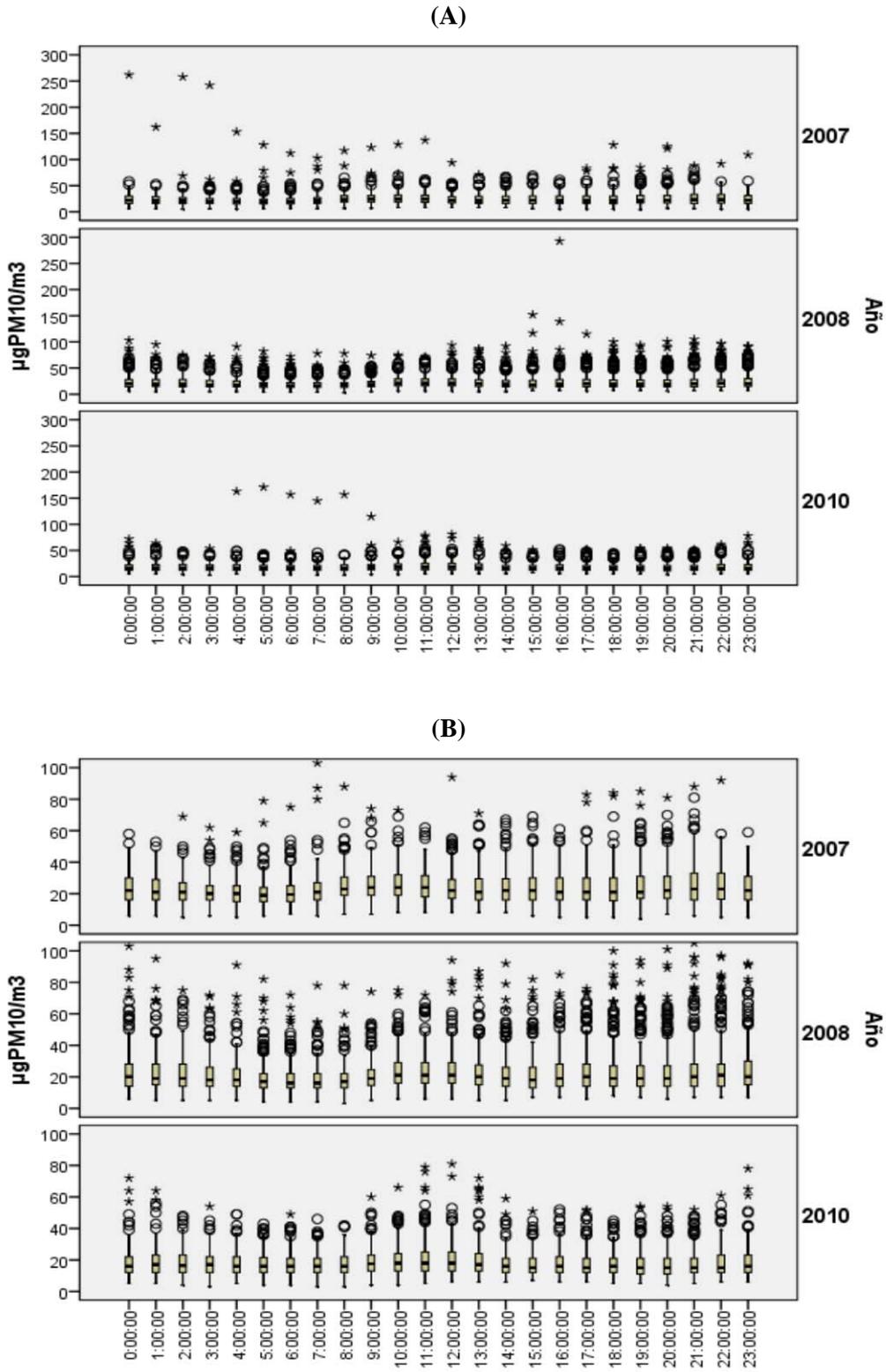


Figura 36. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM_{10} durante los años 2007, 2008 y 2010. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

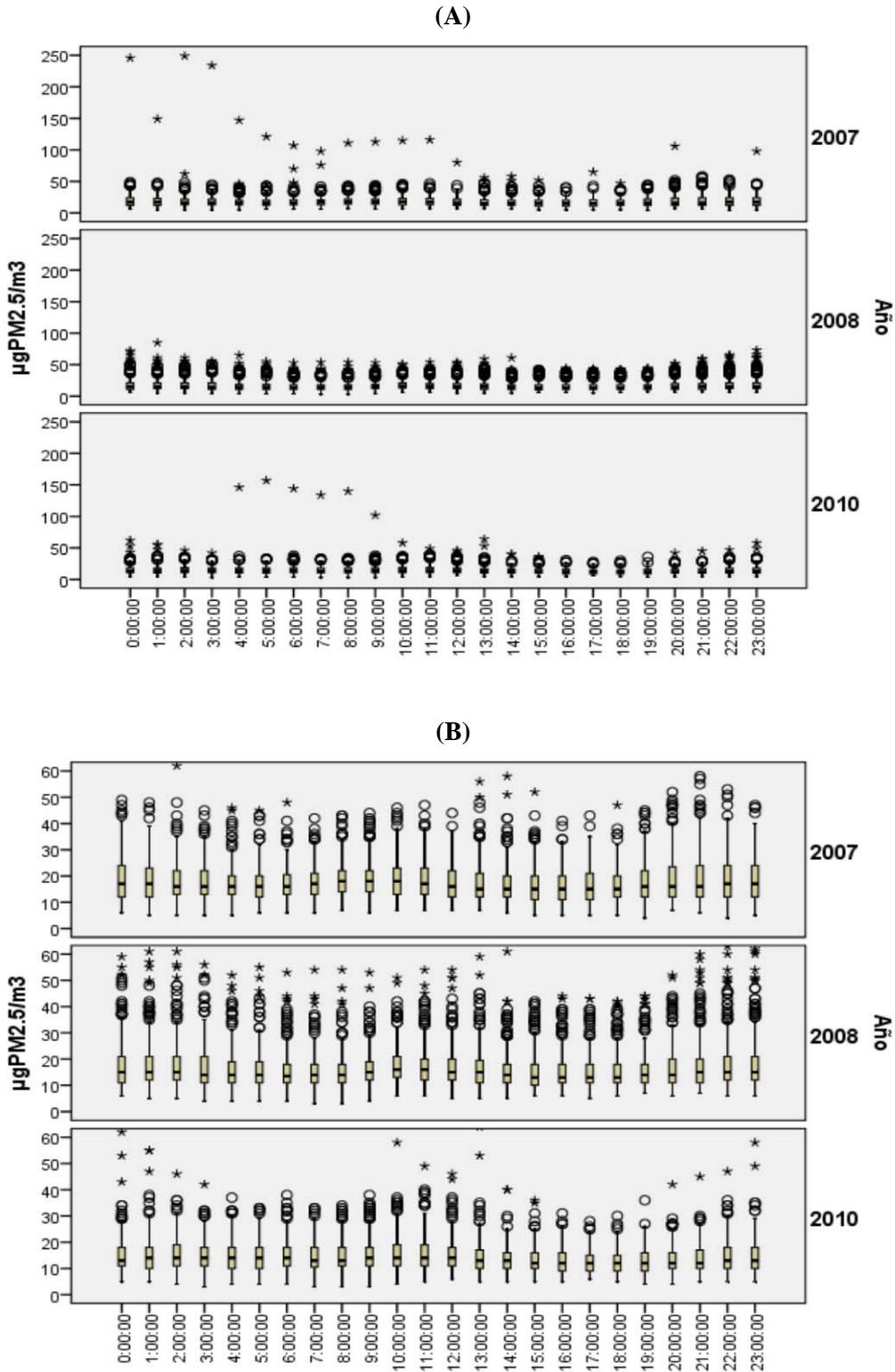


Figura 37. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de $PM_{2.5}$ durante los años 2007, 2008 y 2010. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

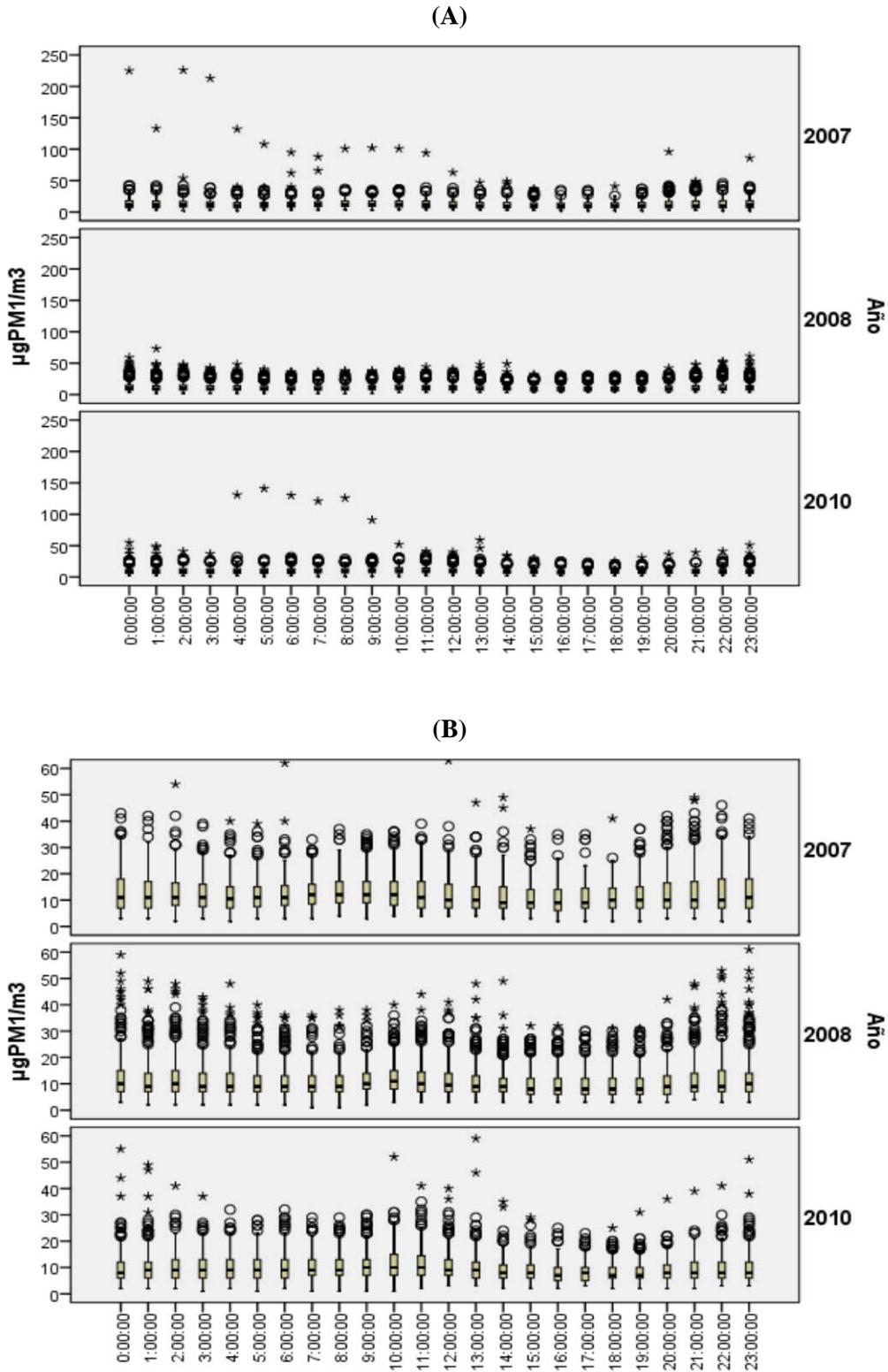


Figura 38. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM_1 durante los años 2007, 2008 y 2010. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.