



universidad
de león

Departamento de Biodiversidad y Gestión
Ambiental (Área de Botánica)

ESTUDIO DE ALERGENOS DE POLEN EN LA
ATMÓSFERA DE VALLADOLID

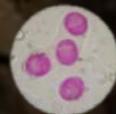
ESTUDIO DE ALÉRGENOS
DE POLEN EN LA ATMÓSFERA
DE VALLADOLID

Tesis
Doctoral

Santiago
De Castro
Alfageme

2014

TESIS DOCTORAL
SANTIAGO DE CASTRO ALFAGEME
2014





**universidad
de león**

**Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental
(Área de Botánica)**

“Estudio de alérgenos de polen en la atmósfera de Valladolid”

TESIS DOCTORAL

Santiago de Castro Alfageme

León, 2014



INFORME DE LAS DIRECTORAS DE LA TESIS

Las Doctoras, Dña. Delia Fernández González, Dña., Rosa M^a Valencia Barrera y Dña. Ana M^a Vega Maray, como Directoras de la Tesis Doctoral titulada **“Estudio de alérgenos de polen en la atmósfera de Valladolid”** realizada por D. Santiago de Castro Alfageme, en el programa de doctorado **Biología Animal y Vegetal**, informan favorablemente el depósito de la misma, dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmamos, en León a 21 de noviembre de 2014.

Dra. Delia Fernández González

Dra. Rosa M^a Valencia Barrera

Dra. Ana M^a Vega Maray

Dimidium facti, qui coepit, habet: sapere aude, incipe

(Quien ha comenzado, ya ha hecho la mitad:

atrévete a saber, empieza).

"Epistularum liber primus" HOMERO

A mis padres

A Sari

Agradecimientos

Por fin, después de tanto tiempo ha llegado el momento de agradecer y mostrar mi reconocimiento a las personas que de una u otra forma me han ayudado a que esta Tesis sea una realidad.

En primer lugar, a mis Tutoras de tesis Delia Fernández González, Rosa M^a Valencia Barrera y Ana M^a Vega Maray por sus orientaciones en el mundo de la investigación, los consejos, las ayudas y especialmente por su tiempo y amistad.

A la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León por permitirme instalar el captador ciclón en la azotea de la Consejería y en particular a los Directores de la Agencia de Protección de la Salud y Seguridad Alimentaria, Clara Berbel Hernández y Jorge Llorente Cachorro, por animarme a realizar los estudios de doctorado y apoyarme en todo momento durante los mismos.

A mis compañeros de trabajo en la Consejería, en particular a los entonces becarios Victoria Eugenia de Vega Calonge, María Elena Fernández SanJuan y Carlos Cordón Marcos por el entusiasmo y la colaboración con el trabajo relacionado con el polen.

A los compañeros del Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Marta, Félix, Arsenio, Hilda, Víctor, Sara, Ángel, Carmen, Ana, Raquel, etc..... por sus consejos sobre la templanza y los tempos para redactar esta tesis, la colaboración en la obtención de algunos datos y bibliografía y por los momentos relajantes durante los cafés de media mañana.

A Zulima González Parrado, Estefanía Sánchez Reyes y Carmen Reyes Fuertes Rodríguez por la colaboración, por los artículos publicados y congresos compartidos y su amabilidad.

A Zulima por la constancia, la dedicación y la ayuda en el laboratorio; por las horas pasadas con ELISA y por su amistad.

A Juan Asturias de Laboratorios Bial-Arístegui de Bilbao por sus prontas e inestimables respuestas a numerosas preguntas y por su amabilidad.

A la familia APLE, por haberme acogido como a uno más y, con su ejemplo, afianzar en mí el interés por la aerobiología.

A la AEMET y sus técnicos por facilitarme los datos meteorológicos y responder a las preguntas planteadas.

Al Ayuntamiento de Valladolid y a sus técnicos por facilitarme datos de la Red de Control de la Contaminación atmosférica en Valladolid y al Servicio de Parques y Jardines por sus indicaciones.

A Sara por el diseño de la portada de esta Tesis.

A mi familia y amigos por haber sido comprensivos con mis prolongadas ausencias.

Índice

I. Justificación y objetivos	13
1. Justificación.....	15
2. Objetivos.....	16
II. Introducción	17
1. Aerobiología	19
1.1. Aplicaciones de la Aerobiología	19
1.2. Procesos aerobiológicos	20
1.3. Factores meteorológicos que influyen en los procesos aerobiológicos	24
1.4. Contaminantes atmosféricos	25
1.5. Polinización y periodo polínico principal	27
1.6. El grano de polen	29
1.7. Los alérgenos y panalérgenos	32
1.7.1. Concepto de alérgeno y panalérgeno.....	33
1.7.2. Nomenclatura de alérgenos.....	34
1.7.3. Clasificación de los alérgenos.....	35
2. La Aerobiología y la Salud Pública	38
3. Características de <i>Platanus hispánica</i>	41
3.1. Aspectos botánicos y ecológicos	41
3.2. Morfología del polen	43
3.3. Alérgenos del polen de <i>Platanus</i>	43
4. Características de Poaceae	44
4.1. Aspectos botánicos y ecológicos	44
4.2. Morfología del polen	46
4.3. Alérgenos del polen de Poaceae	46
5. Características de Urticaceae.....	48
5.1. Aspectos botánicos y ecológicos	48
5.2. Morfología del polen	50
5.3. Alérgenos del polen de Urticaceae.....	50
6. Caracterización del área de estudio.	51
6.1. Vegetación.....	52
6.2. Climatología y parámetros meteorológicos	54
6.3. Contaminantes atmosféricos	55
III. Material y métodos	57
1. Análisis de los parámetros meteorológicos	59
2. Análisis de los contaminantes atmosféricos	60
3. Análisis de la concentración de polen en el aire	62

3.1. Muestreo de los granos de polen.....	62
3.2. Procesado de las muestras.....	64
3.3. Identificación y recuento de granos de polen.....	65
4. Análisis de la concentración de alérgenos en el aire	66
4.1. Muestreo de los alérgenos del polen	67
4.2. Extracción de las muestras	68
4.3. Método de ELISA doble sándwich para la cuantificación.....	68
5. Análisis estadístico de los datos	71
IV. Resultados	73
1. Análisis de los parámetros meteorológicos	75
1.1. Temperaturas.....	75
1.2. Humedad relativa	78
1.3. Precipitaciones.....	79
1.4. Evaporación	80
1.5. Insolación	80
1.6. Viento.....	81
1.7. Radiación.....	84
2. Análisis de los contaminantes atmosféricos	84
2.1. Material particulado atmosférico.....	84
2.2. Monóxido de nitrógeno.....	86
2.3. Dióxido de nitrógeno.....	87
2.4. Monóxido de carbono.....	87
2.5. Dióxido de azufre.....	88
2.6. Ozono.....	89
2.7. Benceno.....	89
3. Análisis general del polen	90
4. Análisis del tipo polínico <i>Platanus</i>	91
4.1. Polen de <i>Platanus</i>	91
4.2. Alérgeno Pla a 1.....	93
4.3. Relación entre polen de <i>Platanus</i> y Pla a 1 e influencia de los parámetros meteorológicos y de los contaminantes.....	94
5. Análisis del tipo polínico Poaceae.....	112
5.1. Polen de Poaceae	113
5.2. Alérgenos Lol p 1 y Lol p 5.....	115
5.3. Relación entre polen de Poaceae y Lol p 1 y Lol p 5 e influencia de los parámetros meteorológicos y de los contaminantes.....	116
6. Análisis del tipo polínico Urticaceae.....	135
6.1. Polen de Urticaceae.....	135
6.2. Alérgeno Par j 1-Par j 2.....	137
6.3. Relación entre polen de Urticaceae y Par j1-Par j2 e influencia de los parámetros meteorológicos y de los contaminantes.....	138

V. Discusión	155
1. Tipo polínico <i>Platanus</i>	157
2. Tipo polínico Poaceae.....	166
3. Tipo polínico Urticaceae	174
VI. Conclusiones	181
VII. Referencias bibliográficas	185
VIII. Relación de Figuras	219
IX. Relación de Tablas	225

I. Justificación y Objetivos

1. Justificación

Los niveles de polen en la atmósfera han sido utilizados durante más de 50 años para evaluar la exposición a alérgenos en estudios clínicos y epidemiológicos. En este sentido, la información más común disponible para los médicos y enfermos de polinosis es la concentración de polen en el aire y su distribución temporal, es decir, los calendarios polínicos; sin embargo, hasta ahora, la monitorización e información de las concentraciones de alérgenos en la atmósfera es escasa.

En los últimos años, diversos trabajos han mostrado que las concentraciones de alérgenos en la atmósfera, en ocasiones se desvían de los recuentos de polen y pueden variar bajo ciertas condiciones ambientales, es decir, la potencia alergénica del polen es variable y, por lo tanto, los recuentos de polen no son el único método para evaluar la carga alergénica a la que está expuesta la población (Moreno-Grau *et al.*, 2006; De Linares *et al.*, 2007; Buters *et al.*, 2010; Jato *et al.*, 2010; Fernández González *et al.*, 2011; Galán *et al.*, 2013); de esta forma la monitorización de las concentraciones de alérgenos junto con las de polen mejoraría la información (Cecchi *et al.*, 2010; Fernández Ladeira *et al.*, 2011; Buters *et al.* 2012; Cecchi, 2013).

La influencia del clima y de los cambios de éste sobre los ecosistemas es, actualmente, uno de los temas más recurrentes en la reciente literatura científica (Menzel, 2002; Menzel *et al.* 2006; Dawson *et al.* 2011; Bullock *et al.* 2012). Asimismo, el clima y las variaciones meteorológicas influyen en los procesos aerobiológicos e incluso en la formación de la antera y en los procesos de microesporogénesis y microgametogénesis (Huynen & Menn, 2003, Emberlin *et al.*, 2002, 2007; Avolio *et al.*, 2008; Ziska *et al.*, 2008).

Es conocido que la prevalencia de las enfermedades alérgicas en los países industrializados se ha incrementado en las últimas décadas y que la exposición a los contaminantes ambientales puede justificar en parte, este incremento. Muchos investigadores han trabajado sobre los efectos que la contaminación atmosférica puede tener en las plantas, los animales y las personas (Majd *et al.*, 2004; Bartra *et al.*, 2007; Kanter *et al.*, 2013; Salehi *et al.*, 2014). Relacionado con el polen existen estudios sobre la alergenicidad del mismo en áreas contaminadas y en áreas no contaminadas y varios trabajos realizados *in vitro* sobre los efectos de los contaminantes en la capacidad del polen de expulsar proteínas alergénicas. Sin embargo, en la bibliografía consultada hay muy pocos estudios que analicen la relación de los contaminantes con el polen y los alérgenos en la atmósfera y ninguno se ha realizado en la ciudad de Valladolid.

Con este trabajo se pretende contribuir a mejorar el conocimiento sobre la presencia del polen y de los alérgenos en la atmósfera. Al mismo tiempo podrá ser de gran utilidad para que las personas afectadas de polinosis puedan

controlar mejor sus síntomas a partir de una información mas precisa sobre periodos de aparición de ciertos tipos polínicos en el aire y a los profesionales sanitarios para concretar más los diagnósticos y el tipo de inmunoterapia que se debe aplicar a cada paciente. Además, podrá contribuir a que las autoridades sanitarias elaboren programas preventivos sobre alergias respiratorias.

Por todo ello, en este trabajo se aborda el estudio del polen y de los alérgenos de los tres tipos polínicos más representativos en la atmósfera y de mayor importancia clínica de la ciudad de Valladolid y de que forma influyen las variables meteorológicas y los contaminantes atmosféricos sobre la concentración y distribución estacional de los mismos. Por todo ello se han planteado los siguientes objetivos.

2. Objetivos

2.1. Conocer las concentraciones y la distribución estacional del polen de los tipos polínicos *Platanus*, Poaceae y Urticaceae en la atmósfera de la ciudad de Valladolid.

2.2. Estudiar las concentraciones y distribución de los alérgenos Pla a 1, Lol p 1, Lol p 5 y Par j 1-Par j 2 en la atmósfera de Valladolid.

2.3. Determinar la relación entre cada tipo polínico y sus alérgenos correspondientes.

2.4. Profundizar en el conocimiento de la influencia que los parámetros meteorológicos ejercen sobre cada tipo polínico y sobre cada aeroalérgeno.

2.5. Establecer la relación entre diversos contaminantes atmosféricos y cada uno de los tipos polínicos y sus proteínas alergénicas.

2.6. Valorar y conocer los principales periodos de riesgo para la salud humana de cada tipo polínico.

II. Introducción

1. Aerobiología

La Aerobiología es una ciencia que analiza la liberación, retención, dispersión, deposición e incidencia atmosférica de esporas, granos de polen y otros microorganismos aerovagantes (Pathirane, 1975). Los estudios aerobiológicos son complejos (Isard & Gage, 2001) y necesitan de la colaboración de especialistas de numerosas disciplinas; de hecho, Edmonds & Bennihoff (1973) indicaron que la aerobiología es una ciencia de integración que puede ser considerada como la ecología del aire.

El término aerobiología fue acuñado por Meier en los años 30 del siglo pasado y ha sido adoptado para referirse a la disciplina que se ocupa del estudio de los organismos vivos aerotransportados, su diversidad, modos de vida, dependencia y, al mismo tiempo, repercusión en el entorno.

En la actualidad comprende el estudio tanto de partículas bióticas (con un rango muy amplio en el que se incluyen virus, hongos, algas, fragmentos de líquenes, semillas, propágulos de las plantas, protozoos e insectos) y de su relación con factores ambientales diversos; como de partículas abióticas (plomo, mercurio, asbestos, cadmio, material particulado, y gases como monóxido de carbono, dióxido de azufre u ozono) que afectan a los organismos vivos y que pueden modificar la capacidad alergénica del polen (Nilsson, 1992).

1.1. Aplicaciones de la Aerobiología

A lo largo de la historia, la Aerobiología ha adquirido una gran importancia por su implicación en los estudios de la polinosis, o alergia al polen. Debido a ello esta disciplina ha estado vinculada desde su nacimiento a la medicina.

La agricultura también ha sido y es un campo de aplicación importante de la Aerobiología. La monitorización aeropalinológica puede dar información sobre fitopatología, fenología y producción de cultivos, puesto que existe una interrelación entre la calidad y la cantidad de polen liberado por las anteras y las cosechas.

Entre las aplicaciones de la aerobiología en el campo del medio ambiente destaca, por su actualidad, el estudio del cambio climático. La monitorización de los granos de polen presentes en el aire durante largos periodos de tiempo, puede revelar cambios en la vegetación, limpieza y/o regresión de bosques o reforestación, sobre todo a nivel de distribución de especies. Además, se ha comprobado la influencia de ciertos contaminantes atmosféricos en la producción y viabilidad del polen y los alérgenos.

La aerobiología también permite conocer las partículas que causan daños en el patrimonio cultural y prevenir de la forma más efectiva, en cada caso, para eliminarlas con la metodología más adecuada (Mandrioli *et al.*, 2003).

Por último, esta disciplina también se puede aplicar al campo de la criminología, comprobando, por ejemplo, el origen del polen de especies consideradas estupefacientes como los granos de polen de *Cannabis sativa* L. (Cabezudo *et al.*, 1997). De la misma forma, se puede conocer el estado de adulteración de las drogas mediante el muestreo de las esporas aerotransportadas que están presentes en las mismas. Por otra parte, el estudio del polen y de otras partículas microscópicas ha demostrado ser un recurso esencial para la resolución de numerosos casos policiales dado que estas partículas se pueden transportar adheridas a diversos tejidos.

1.2. Procesos aerobiológicos

Dentro de la Aerobiología y teniendo en cuenta la relación “aérea” con la “biológica” se analizan una serie de fenómenos que se explican bajo la denominación de “procesos aerobiológicos” los cuales comprenden la liberación, dispersión, deposición y resuspensión atmosférica de esporas, polen y otros microorganismos aerovagantes (Pathirane, 1975) (Figura 1).

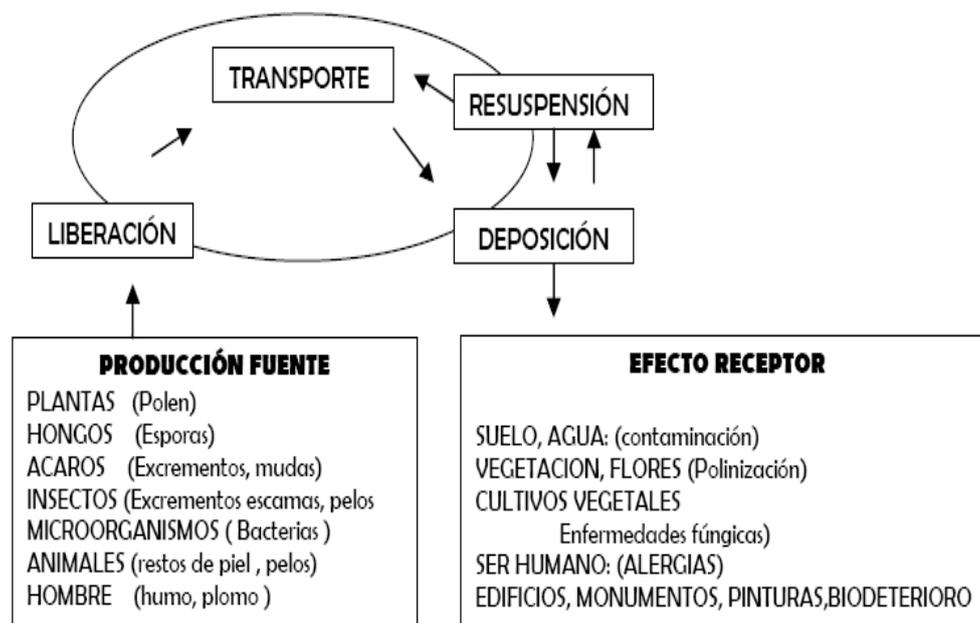


Figura 1. Procesos aerobiológicos.

La producción de polen es un evento que ocurre en el ciclo biológico de las plantas como parte del proceso reproductor de las mismas. Su objetivo es encontrar un óvulo de la misma especie y poder realizar la fecundación para así garantizar la continuidad de la planta. La cantidad de polen que producen las plantas y el momento de la liberación del mismo son mecanismos controlados

genéticamente y que dependen de las condiciones ambientales, especialmente climáticas, no siempre fáciles de interpretar. La producción de polen en árboles y arbustos anemófilos es muy variable. Por ejemplo, algunas coníferas son capaces de producir polen a los 7 años, mientras que en otros casos pueden pasar hasta 15 años o más. En algunos árboles, al finalizar el verano, ya está determinada genéticamente la floración del año posterior y en consecuencia la producción de granos de polen (Matthews, 1963).

La emisión o liberación de los granos de polen, desde los sacos polínicos de las anteras de las flores, es un evento dependiente de varios factores entre los que encontramos la lluvia, la presión atmosférica, la humedad relativa y el viento. En primer lugar, se abre la flor y se extienden las anteras. El tejido de la antera se seca y se rompe. El polen cae y se deposita por gravedad en las partes florales o en las hojas, si bien en ocasiones la emisión es explosiva. Por último, el viento lleva el polen lejos de la planta. (Edmonds, 1979).

La proporción del polen emitido que se convierte en aerotransportado depende de la velocidad del viento, la turbulencia atmosférica, la lluvia, la altura de la antera con respecto a las superficies circundantes y la densidad de la vegetación próxima. Aproximadamente, las tres cuartas partes del polen emitido se convierte en aerotransportado en días de viento (Edmonds, 1979).

El polen puede dejar las anteras tan pronto éstas se abren o puede quedar retenido en las mismas durante un tiempo por estructuras derivadas de las células del tapete tales como la trifina, el pollenkitt o filamentos de esporopolenina, a la espera del agente polinizador (viento en el caso de anemófilas) (Pacini *et al.*, 1997).

Los fenómenos relacionados con la permanencia, transporte y dispersión del polen en el aire, están fuertemente ligados a los procesos atmosféricos. Esta parte de la aerobiología está determinada por el estudio de los factores físicos (turbulencias del aire, insolación, lluvia, temperatura, humedad, etc.). Pero también hay que tener en cuenta los aspectos aerodinámicos de las partículas como: forma, volumen, tamaño, peso, elasticidad, etc.

De forma teórica, el polen se liberaría inicialmente formando un cono horizontal con el vértice situado en el foco de emisión (Figura 2) (Main *et al.*, 2000).

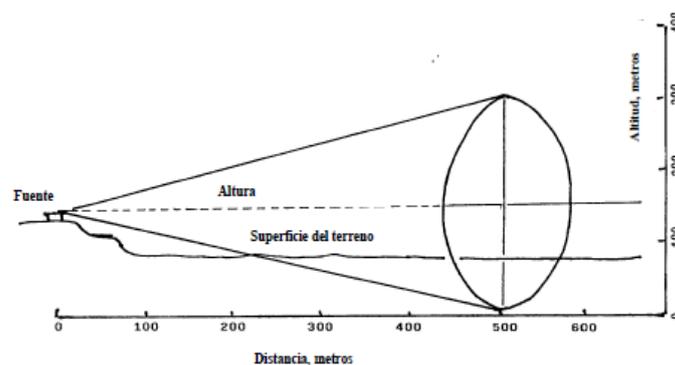


Figura 2. Forma teórica de liberación y dispersión de partículas (Main *et al.*, 2000).

Se pueden distinguir tres tipos de dispersión teniendo en cuenta la distribución en superficie de los organismos que las producen: **puntual**, **lineal** y **areal** (Nilsson, 1992). En el caso de los granos de polen, las distribuciones puntual y lineal aparecen en mayor medida en zonas urbanas. En ellas es donde se encuentran multitud de individuos aislados o filas de éstos. En la naturaleza, la distribución más común es la de tipo areal ya que las plantas de una misma especie normalmente se distribuyen en manchas de vegetación.

Una vez que los granos de polen, o cualquier otra partícula, pasan al aire están sujetos a las fuerzas fluctuantes ejercidas por las moléculas que las rodean (Figura 3). El resultado es un movimiento al azar denominado "Movimiento Browniano", descrito por Robert Brown en 1827, utilizando una dispersión acuosa de granos de polen. Como resultado de este movimiento al azar y, sin la presencia de fuerzas externas, se produce una migración de partículas desde regiones de alta hacia regiones de baja concentración, proceso denominado como **difusión** (Mandrioli *et al.*, 1998).

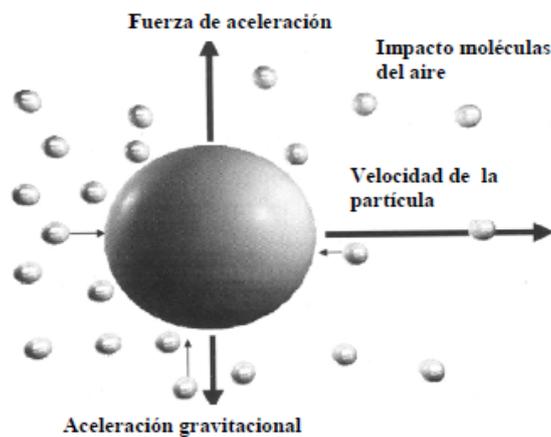


Figura 3. Fuerzas que inciden sobre una partícula en suspensión (Mandrioli *et al.*, 1998).

Las partículas de pequeño tamaño se mueven a través de la atmósfera encontrándose con turbulencias y remolinos de diferente tamaño. Si los remolinos son mucho más grandes que las partículas, la nube se dispersa muy poco moviéndose como un conjunto con la estructura del remolino produciéndose un transporte (Figura 4a). Si los remolinos son más pequeños que la nube de partículas, entonces las partículas se diluyen ocupando un volumen de aire mayor, en este caso no tiene por qué haber un transporte (Figura 4b). Ambos fenómenos coinciden en la mayoría de ocasiones. Si los movimientos del aire son grandes, mayores que la nube, entonces se produce el transporte o dispersión (Edmonds, 1979).

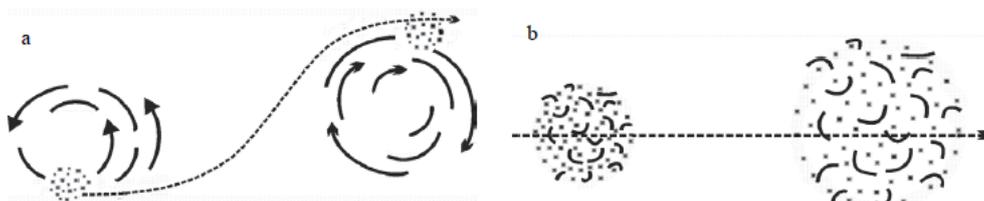


Figura 4. Dispersión por turbulencias (Edmonds, 1979). a: Remolino más grande que las partículas. b: Remolino más pequeño que las partículas.

Respecto al transporte de los granos de polen en la atmósfera, tradicionalmente, se han distinguido dos tipos, el **transporte vertical**, producido por corrientes de convección, vientos y turbulencias atmosféricas y el **transporte horizontal** el cual permite la distribución del polen tanto a **corta distancia** como a **larga distancia** (Gregory, 1973). La mayor parte de las partículas biológicas que son liberadas a la atmósfera se depositan sobre el suelo a pocos metros de su fuente de producción, transporte a corta distancia. Sin embargo, una pequeña parte que se denomina "escape fraction", se difunde a las capas superiores y viaja a unas distancias que dependen tanto del viento como de la altura que alcancen en la atmósfera; este es el transporte a larga distancia (Gregory, 1973). Existen diversos estudios científicos que han demostrado el transporte a larga distancia de polen de diversas especies de plantas (Stanley & Linskens, 1974; Mandrioli *et al.*, 1980; Hjelmroos, 1991; Cabezudo *et al.*, 1997; Comtois, 1997; Leventin, 1998; Fornaciari *et al.*, 2000; Gastaminza *et al.*, 2005).

Durante el transporte de las partículas en la atmósfera pueden aparecer diversos obstáculos los cuales, al oponerse a los vientos, disminuyen la velocidad de estas partículas y su potencia de arrastre (De la Rosa *et al.*, 2002).

El proceso de dispersión termina con la sedimentación de las partículas por gravedad, proceso que solamente es importante en el aire en calma. Generalmente, hay demasiadas turbulencias para que esto suceda, excepto en zonas de vegetación densa donde la velocidad del viento disminuye o en condiciones estables durante la noche cuando la capa laminar limitante alcanza varios metros de altura. Por el contrario, el transporte de las partículas puede finalizar rápidamente por el "lavado del aire" debido a la lluvia, siendo diez veces más eficiente que la sedimentación y la impactación. Su eficacia está en función del radio de las gotas de lluvia y de las velocidades terminales de la gota y de la partícula (Starr & Mason, 1966). La lluvia disminuye exponencialmente la concentración de partículas del aire con respecto al tiempo, tardando más las de mayor tamaño. Gregory y colaboradores (1967) demostraron que el 72% de las partículas de 4 mm permanecía en el aire después de 120 minutos.

Miller & Wang (1988) demostraron que las variaciones en la humedad relativa, la temperatura, la presión atmosférica y la carga electrostática pueden alterar la eficacia en el lavado atmosférico. El incremento de la eficacia ocurre para una disminución de la humedad relativa y/o incremento de la temperatura, la presión y la carga electrostática.

En último lugar, después de la deposición de las partículas en los sustratos, existe la posibilidad de reflotación o resuspensión en el aire, repitiéndose los fenómenos de transporte y deposición.

1.3. Factores meteorológicos que influyen en los procesos aerobiológicos

La presencia y la concentración de polen en el aire están fuertemente influenciadas por las condiciones meteorológicas y climáticas de muchas formas y a diferentes escalas de tiempo (Huynen & Menn, 2003).

Además, en la atmósfera, el polen coexiste con contaminantes atmosféricos procedentes de fuentes antropogénicas o generados por procesos fotoquímicos. El efecto de estos contaminantes sobre el polen o sobre su potencial alergénico es actualmente un importante tema científico (Cuinica *et al.*, 2013). No obstante, el efecto de los contaminantes atmosféricos sobre el potencial alergénico del polen no está todavía completamente claro, pero se ha sugerido que contribuye al incremento de la sensibilización alérgica (Bosch-Cano *et al.*, 2011; Sousa *et al.*, 2012, Cuinica *et al.*, 2014a).

Los parámetros meteorológicos actúan de forma sinérgica sobre las partículas existentes en la atmósfera (polen, aeroalérgenos, contaminantes, etc.), y lo hacen a dos niveles: en las etapas previas a la floración y en la intensidad de la floración y en las etapas de emisión, transporte, dispersión y/o deposición.

La temperatura interviene en todas las fenofases de las plantas, acelerando o retrasando la formación de yemas florales, antesis, emisión y dispersión del polen (Leuchner & Boehm, 1981).

La temperatura, junto con la radiación solar, son las responsables principales del comienzo de la floración en las especies termófilas, las cuales florecen cuando han recibido una cierta cantidad de calor acumulado a partir de un determinado umbral y de un determinado momento. El umbral de temperatura a partir del cual la planta comienza a acumular calor depende de la zona geográfica donde se desarrolle y de sus condiciones ambientales (González-Minero *et al.*, 1993; García-Mozo *et al.*, 2000; Jato *et al.*, 2002). Del mismo modo, cada planta requiere superar un umbral de temperatura específico para que se produzca la dehiscencia de las anteras. La antesis y emisión de polen suele ocurrir en las horas centrales del día, cuando las temperaturas son más elevadas. Un descenso brusco de temperatura puede retrasar la dehiscencia o impedir la emisión. Además, las temperaturas máximas favorecen los fenómenos convectivos que facilitan el transporte vertical de las partículas e incrementan la permanencia de éstas en la atmósfera (Galán *et al.*, 2000).

Se ha comprobado también que en los árboles de floración invernal, sometidos a un proceso de vernalización, hay influencia de la temperatura porque, durante este periodo, ya están presentes las células productoras de los granos de polen, por lo tanto tienen unos requerimientos concretos de horas de frío y de calor (Rodríguez-Rajo, 2000; González-Parrado *et al.*, 2006).

Otro de los parámetros que también influye en el inicio de la floración es la precipitación. Como se ha mencionado anteriormente, las lluvias actúan como “limpiadoras” de la atmósfera sedimentando el polen. La mayor o menor influencia de este parámetro en los fenómenos aerobiológicos dependerá del momento fenológico de cada planta, del momento del día en que ocurran, de la intensidad, etc. La sequía, sobre todo la edáfica, puede provocar, si es extensa y prolongada, estrés hídrico en la vegetación. Cada especie tiene unas necesidades mínimas de precipitación para poder iniciar su ciclo de crecimiento anual (Recio *et al.*, 2010; León Ruiz *et al.*, 2011; García Sánchez, 2012). La evaporación puede provocar en las plantas los mismos efectos que los periodos de sequía.

La insolación, u horas de sol, está relacionada con la temperatura y los fotoperiodos. El aumento de la insolación activa las hormonas del crecimiento (giberelinas y citoquininas) que regulan la formación de las flores. Una vez iniciada la floración, el aumento en el número de horas de sol diarias provoca un incremento de la concentración polínica, esto se debe a que se produce una deshidratación de las paredes de las anteras, facilitando la dehiscencia y como consecuencia la liberación de polen (Bricchi *et al.*, 1992; Galán *et al.*, 1995).

La humedad relativa favorece el desarrollo de la planta y facilita la floración, pero un incremento por encima de un umbral específico impide la dehiscencia de las anteras y disminuye los niveles de polen en la atmósfera (Fernández González *et al.*, 2013).

El viento ejerce una influencia decisiva en la dispersión y transporte de los granos de polen de plantas anemófilas. En general y dentro de ciertos rangos, las concentraciones de polen ascienden cuando aumenta la velocidad del viento (McDonald, 1980) y disminuyen si se reduce (Bricchi *et al.*, 1992). Además, el viento también puede favorecer la reflatación del polen ya sedimentado. Por otro lado, la dirección del viento juega un papel importante, aumentando la concentración de polen, si la dirección es favorable a la orientación del captador y disminuyéndola si la dirección es contraria.

1.4. Contaminantes atmosféricos

Los contaminantes atmosféricos forman parte de los denominados aerosoles, sistema de partículas sólidas o gotas líquidas que pueden permanecer dispersadas en un gas, normalmente el aire (Morrow, 1974). Los aerosoles pueden ser primarios, si son emitidos directamente a la atmósfera, o secundarios, si se forman en la atmósfera por la transformación de las emisiones gaseosas, tales como óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x) o compuestos orgánicos volátiles (COV) (Fuzzi *et al.*, 2006).

Dentro de los contaminantes atmosféricos se incluye al material particulado, mezcla compleja de partículas de variada naturaleza, composición

y distribución granulométrica en suspensión en la atmósfera, originadas bien de fuentes naturales o antropogénicas (Meszáros, 1999).

Entre las fuentes naturales tenemos:

-La corteza terrestre, de la que el material mineral o crustal es liberado por la acción de los vientos. Las partículas comprendidas entre $0,1 \mu\text{m}$ y $5 \mu\text{m}$ son capaces de realizar viajes de hasta 500 km (Vergaz, 2001). En la Península Ibérica, las denominadas intrusiones saharianas, producidas por la proximidad del desierto del Sahara, son un ejemplo de este material mineral.

-La superficie del mar, de la que por la acción del viento, se genera el aerosol marino, presente en zonas costeras y en zonas alejadas de la costa.

-La vegetación y los microorganismos emiten partículas primarias denominadas bioaerosoles, cuyo principal elemento es el carbono, al tratarse de materia orgánica. Entre los bioaerosoles de hasta $100 \mu\text{m}$ se encuentran los granos de polen y las esporas de helechos y hongos y con diámetros menores a $10 \mu\text{m}$ pequeños fragmentos y excreciones de plantas y animales, bacterias, carbohidratos, virus, proteínas, iones y ceras (Després *et al.*, 2007; Deguillaume *et al.*, 2008). También la vegetación emite a la atmósfera diversas moléculas como el isopreno y los terpenos, hidrocarburos que tras sufrir reacciones químicas pueden modificar su estructura o unirse a otros compuestos atmosféricos.

-Erupciones volcánicas, con gran contenido en sulfatos.

-Relámpagos, como fuente importante de óxidos de nitrógeno (NO_x).

Entre las fuentes antrópicas hemos de destacar:

- El tráfico, sobre todo en áreas urbanas. Los vehículos emiten mezcla de gases y partículas carbonosas ultrafinas, las denominadas partículas de emisión diesel. El tráfico es la principal fuente de óxidos de nitrógeno, pero también emite plomo, cadmio, zinc, níquel, etc. También el tráfico aéreo y marítimo emiten material particulado.

- Las actividades industriales son responsables del 60-80% de las emisiones de azufre. Destaca la gran contribución de las fábricas de cerámica, ladrillos, cemento, las fundiciones, las plantas de reciclaje y compostaje y los numerosos procesos industriales donde hay combustión de fuel-oil, sin olvidar la combustión de carbón en centrales térmicas.

- La quema de biomasa, incluyendo bosques, pastos y tierras agrícolas, cuyos aerosoles están compuestos principalmente por carbono orgánico pero también por polvo insoluble y cenizas.

Dentro del material particulado, los términos PM₁₀ y PM_{2,5} hacen referencia a las partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo, para un diámetro aerodinámico de 10 µm y 2,5 µm, respectivamente, por tanto, la fracción PM₁₀ incluye a la fracción PM_{2,5}.

Pope (2010) indica que las partículas gruesas consisten fundamentalmente en material geológico y son generadas normalmente por la acción del viento, mientras que las partículas finas principalmente consisten en partículas secundarias formadas en la atmósfera por procesos de nucleación, coagulación o condensación y carbono orgánico primario y carbono elemental. El mismo autor señala que los granos de polen pueden actuar como núcleos de condensación.

Son numerosos los estudios epidemiológicos que han puesto de manifiesto una correlación significativa entre la exposición al material particulado atmosférico y diversos aspectos adversos para la salud (Künzli *et al.*, 2000; Yang *et al.*, 2006; Bartra *et al.*, 2007).

Son muchos los informes y artículos que relacionan los efectos sobre la salud humana de la contaminación atmosférica en zonas urbanas (Schwela, 2000). Pero los contaminantes atmosféricos también afectan al desarrollo vegetativo y reproductivo de las plantas (Black *et al.*, 2000, 2007; Darbah *et al.*, 2008; Ziska *et al.*, 2008) y consecuentemente al polen y a los alérgenos (Helander *et al.*, 1997; Beggs, 2004; Ziska & George, 2004; Ribeiro *et al.*, 2014). Por ejemplo, se ha demostrado que en granos de polen de cipreses de áreas urbanas contaminadas el promedio de alérgenos es más alto que en granos de polen de áreas urbanas menos contaminadas (Suárez-Cervera *et al.*, 2008a).

Además, existe una relación causa-efecto entre el aumento de los contaminantes y los problemas respiratorios, así como una mayor sensibilidad de las personas alérgicas a la contaminación (Kagamimori *et al.*, 1986; Feo Brito *et al.*, 2007).

1.5. Polinización y periodo polínico principal

El término polinización hace referencia al desplazamiento del polen desde el estambre de una flor que lo produce, hasta el pistilo o micrópilo de otra flor con el fin de realizar la fecundación. Este fenómeno tan sencillo a primera vista, trae asociado unas consecuencias inmediatas y de gran trascendencia para las plantas, como es la formación de la semilla, que le servirá al vegetal para perpetuar su especie y multiplicarse.

En algunas plantas el polen se libera al aire y, por lo general, queda atrapado en la capa baja de la atmósfera y es transportado por el viento; es la denominada **polinización anemófila**. Este tipo de polinización va a ser la responsable de los fenómenos de alergia al polen.

Las plantas con polinización anemófila, por lo general, tienen flores pequeñas con sépalos y pétalos muy reducidos e incluso ausentes, los granos de polen suelen ser pequeños y ligeros, los estambres están expuestos al viento, los estigmas suelen ser plumosos o con grandes superficies y están expuestos al viento de manera que el polen tenga más posibilidades de llegar a ellos y adherirse, con frecuencia las flores son unisexuales y se encuentran agrupadas en inflorescencias que cuelgan de la planta para facilitar la liberación y captación de los granos de polen.

También existe una **polinización zoófila**, en la que el polen es transferido por animales y, menos frecuentemente, una **polinización hidrófila** a través del agua; en ambos casos la influencia en alergias respiratorias es escasa o nula.

En la investigación aerobiológica se suelen utilizar los datos polínicos correspondientes al periodo anual donde se registra la mayor cantidad de polen en el aire. A este periodo se le denomina estación polínica o periodo polínico principal.

Los índices de polen diario acumulados se pueden representar con una curva sigmoideal en la que se tiene en cuenta el período delimitado entre los dos puntos de inflexión, desde el primer punto, correspondiente al inicio del período hasta el segundo punto, el cual es considerado como el final del período de polinización (Pathirane, 1975). Estas curvas representan parte del período de floración de las plantas. La fecha de comienzo puede, de hecho, corresponder a polen de plantas de floración temprana de cualquier parte, que ha sido transportado a largas distancias.

Para desarrollar modelos de predicción del comienzo de la polinización se pueden seguir varios criterios: bien con un valor dado a recuentos medios diarios acumulados; bien utilizando la fecha de inicio desde el primer día en el que las concentraciones medias diarias alcanzan alguno de los dos siguientes criterios: un valor determinado (Davies & Smith, 1973; Driessen *et al.*, 1989, 1990; Rogers, 1997; Norris-Hill, 1998; Newnham, 1999; Clot, 2001) o un porcentaje dado del total anual (Pathirane, 1975; Frenguelli *et al.*, 1991). Por otra parte, la fecha de comienzo de la estación polínica se puede tomar a partir del día en el cual los granos de polen aparecen en la atmósfera de forma continua, durante un número de días determinado; en este caso se utilizan numerosos criterios diferentes para determinar tal fecha (Clot, 1998; García-Mozo *et al.*, 2000; Jato *et al.*, 2002).

Además, hay que tener en cuenta fenómenos meteorológicos como turbulencias, ya que pueden mantener el polen en el aire o resuspenderlo pasada la floración. Esto puede alterar la sincronización entre las fechas de floración y curvas de polen aumentando los recuentos cuando la floración ha finalizado.

Algunos tipos polínicos incluyen especies con diferentes periodos de floración a lo largo del año, con lo que en muchos casos se pueden definir 2-3

periodos claros de mayor polinización. Dependiendo de las condiciones atmosféricas locales, ciertas especies florecen dos o más veces al año como es el caso de la familia *Amaranthaceae* (que incluye la antigua familia *Chenopodiaceae*) en el sureste de España (Cartagena), que florece en primavera y otoño o el género *Parietaria* en varias estaciones (Elvira-Rendueles, 2001). Por ello existen diferentes métodos para el cálculo del periodo de polinización (Mullenders *et al.*, 1972; Nilsson & Persson, 1981; Lejoly-Gabriel *et al.*, 1983; Andersen, 1991; Galán *et al.*, 1995; Spieksma *et al.*, 1995; Jäger *et al.*, 1996; Feher & Járαι-Komlódi, 1997; Giorato *et al.*, 2000; Sánchez-Mesa *et al.*, 2003; Jato *et al.*, 2006).

El uso de diferentes métodos para delimitar este período origina las mayores diferencias en los resultados.

En definitiva, para seleccionar un adecuado criterio sobre la definición y cálculo del periodo polínico principal de un taxa, se deben de tener en cuenta los factores locales que afectan a la presencia del polen en el aire, tales como número de especies existente en la ciudad o zona, posibilidades de transporte de cada tipo polínico, condiciones meteorológicas locales, variabilidad del índice de polen interanual, etc. (Jato *et al.*, 2006).

1.6. El grano de polen

La palabra “polen” procede del latín pollen-inis, que significa “polvo muy fino” o “flor de la harina” y fue utilizada por primera vez por Linneo e incorporada al castellano por Cavanilles (Trigo *et al.*, 2008).

El grano de polen es el gametófito masculino de gimnospermas y angiospermas, es decir, es el encargado de producir los gametos. Los granos de polen se forman en los sacos polínicos tras un proceso meiótico de las células madre del grano de polen y en su madurez contienen dos o tres células y están rodeadas por una pared que tiene la importante función de proteger el contenido celular en su camino hacia el órgano femenino, ya que dicha pared es muy resistente a la pérdida de agua y a las inclemencias ambientales (Frenguelli, 2003).

La morfología de la pared de los granos de polen resulta de una gran complejidad, tanto morfológica como estructuralmente, pudiéndose diferenciar en ella una gran cantidad de caracteres que nos permiten el reconocimiento del taxón que los origina, aun cuando hallamos estos granos de polen en sedimentos, mieles o como componentes del material particulado de la atmósfera.

El proceso ontogénico del grano de polen o gametogénesis masculina comienza en el saco polínico de la antera con la división de unas células esporofíticas diploides que reciben el nombre de células madre de la

microspora. La pared del saco polínico está formada por varias capas: epidermis, endotecio, capa intermedia y tapete.

La capa más interna es el tapete, que constituye un tejido directamente implicado en la formación de los granos de polen. Durante el desarrollo de los granos de polen se establece un patrón de organización de la pared polínica, esporodermis, básicamente relacionado con la posición de las aperturas y estratificación y ornamentación de las dos capas principales: la exina, o capa más externa, formada a su vez por dos subcapas, ectexina y endexina y la intina o capa más interna (Figura 5).

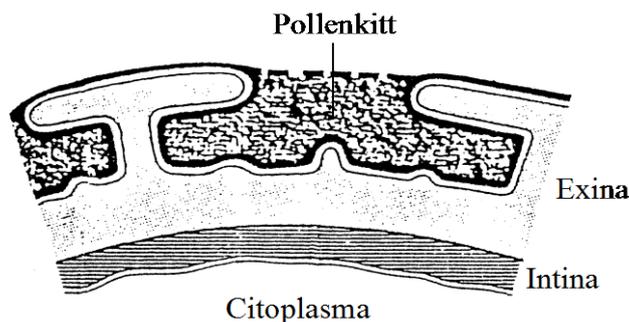


Figura 5. Capas de la esporodermis (Vega-Maray, 2002).

Al inicio del proceso, las células madre se rodean de una envuelta especial de calosa (1-3 β glucano), que les proporciona un aislamiento parcial ya que permite el paso selectivo de moléculas provenientes del tapete. Cada una de las células madre experimenta una división meiótica; como resultado de la cual se forma una tétrada haploide, que se mantiene unida durante un tiempo por la envuelta de calosa. Seguidamente, y gracias a la acción del enzima calasa producida por las células del tapete, la pared de calosa se disuelve y las microsporas quedan libres en el lóculo del saco polínico. Al mismo tiempo, durante esta secuencia, se va depositando la pared del grano de polen, mediante la influencia directa de las células del tapete. Comienza con la incorporación de primexina (glycocálix) entre la pared de calosa y la membrana plasmática (Gabarayeba, 2011), que se sintetiza en las células del tapete y en la microspora simultáneamente, de manera que ambos contribuyen a su formación. La deposición es centrípeta. Después de que la capa externa, exina, se ha consolidado las microsporas experimentan la mitosis y se deposita la intina, de esta forma se origina el grano de polen que posee dos células: una responsable de la fecundación (célula generativa) y otra de la nutrición (célula vegetativa).

Podemos encontrar dos tipos de tapete: secretor y ameboide. Las células del secretor se mantienen en su lugar hasta el final de su degradación, pero las del ameboide forman un plasmodio en contacto con las microsporas en desarrollo. Su papel en el desarrollo de las microsporas incluye la producción y liberación de proteínas, la formación de precursores de la pared (esporopolenina) y el depósito de sustancias lipídicas que al final del desarrollo

recubren exteriormente la pared de los granos de polen, como la trifina y el manto polínico o “pollenkitt” (Pohl, 1930; Hesse, 1993) (Figura 5).

Los tapetes ameboides producen además los orbículos tapetales (orbículos o cuerpos de Ubisch) cuyo componente mayoritario es la esporopolenina. Son pauci-partículas y su presencia en la atmósfera, libres o asociados al polen, les caracteriza como posibles alérgenos (Vinckier & Smets, 2001) (Vinckier *et al.*, 2005). Su función está relacionada con el mecanismo de transporte de la esporopolenina del tapete a las microsporas en desarrollo, el transporte de proteínas esporofíticas (Wang *et al.*, 2003) y la dispersión de los granos de polen (Suárez-Cervera & Seoane-Camba, 2005).

La exina está compuesta de esporopolenina (Van Campo, 1978; Gabarayeba, 2011), la cual es químicamente muy resistente y degradable sólo por oxidación (Rowley, 2001). La esporopolenina es un compuesto a base de terpenos, los cuales se originan por polimerización de carotenoides o ésteres de los mismos en proporción variable (Brooks & Shaw, 1968). Asimismo, se han detectado pequeñas cantidades de polisacáridos (Moore *et al.*, 1991) agrupados con el nombre de glicocalix, lignina y proteínas. Si el polen es probablemente el organismo vivo más frecuentemente fosilizado, ello se debe a la gran resistencia de esta pared a la degradación (Clot, 2007).

La intina está compuesta de celulosa, proteínas y sustancias enzimáticas y es muy similar, en cuanto a estructura y composición, a la pared de cualquier célula vegetal (Erdtman, 1969; Faegri e Iversen, 1989; Sáenz, 1978; Belmonte & Roure, 2002; Sáenz-Laín, 2004). Esta capa es principalmente de naturaleza pectocelulósica (Blackmore & Barnes, 1990; Rowley *et al.*, 1997) y tiene una serie de funciones principales que son: ser una estructura clave en la germinación, puesto que es la precursora del tubo polínico, y ser un reservorio de enzimas y otras proteínas implicadas en la interacción con el estigma (Heslop-Harrison, 1979b; Heslop-Harrison & Heslop-Harrison, 1991).

La composición del “pollenkitt” es muy heterogénea, incluye ceras, gotas lipídicas, pequeñas moléculas aromáticas, una capa de polisacáridos y proteínas (Dobson, 1988; Rowley & El-Ghazaly, 1992; Suárez Cervera *et al.*, 1992, 1995a; Weber, 1992a, b; Hesse, 1993; Edlund *et al.*, 2004).

Al “pollenkitt” se le atribuyen diversas funciones como que su propiedad adhesiva permite a los granos de polen unirse entre ellos y pegarse a las patas de los insectos y otros animales (Pacini & Franchi, 1993; Pacini & Hesse, 2005), pero sobre todo está implicado en el transporte de proteínas mediante los procesos de hidratación que siguen a una respuesta de compatibilidad en el reconocimiento polen estigma (Roberts *et al.*, 1984; Dickinson, 1994, 1995; Hulskamp *et al.*, 1995; Edlund *et al.*, 2004; Sánchez *et al.*, 2004).

La relativa impermeabilidad del “pollenkitt” impide la excesiva deshidratación de los granos de polen, pero a su vez les mantiene en un estado semihidratado hasta que llegan a una superficie adecuada para la germinación

(Pacini & Hesse, 2005). Además, el manto polínico contiene pigmentos como carotenoides, que confieren al grano de polen la resistencia frente a los efectos perjudiciales de las radiaciones solares (Linkens, 1964; Stanley & Linkens, 1974; Pacini & Franchi, 1993; Pacini & Hesse, 2005) y flavonoides, los cuales junto con algunas proteínas, podrían protegerlo frente a ataques de patógenos (Hesse, 1991, 1993; Paul *et al.*, 1992; Terras *et al.*, 1993; Pacini & Hesse, 2005; Rezanejad, 2009). Los carotenoides son antioxidantes que reaccionan con las especies oxígeno reactivas, reduciendo y reparando los efectos negativos de los contaminantes atmosféricos (Castillo *et al.*, 2005).

También se ha demostrado que el “pollenkitt” favorece la dispersión de proteínas de la antera que se transportan en el exterior del polen, induciendo respuesta alérgica a proteínas no específicamente gaméticas (Sánchez *et al.*, 2004; García-Hernández, 2010).

1.7. Los alérgenos y panalérgenos

1.7.1. Concepto de alérgeno y panalérgeno

Alérgeno es una palabra compuesta por “alergia” y “-geno”, que etimológicamente significa que causa o genera alergia.

Los alérgenos son sustancias antigénicas ambientales que al interactuar con el sistema inmunitario de individuos predispuestos ocasionan en éstos la llamada respuesta alérgica, la cual se caracteriza por la aparición de los anticuerpos IgE y las células Th2 antígeno-específicas. Es decir, los alérgenos son un subconjunto de los antígenos. Entonces, cualquier antígeno de tamaño suficiente para poseer al menos dos epítomos para linfocitos B (y por lo tanto, capaz de disparar la degranulación de mastocitos y basófilos) pudiera ser potencialmente alérgico.

Inicialmente el término alérgeno se refería a lo que hoy denominamos fuentes de alérgenos, es decir, polen, ácaros, mohos, alimentos, etc. Hoy se sabe que cada una de esas fuentes tiene varios componentes o moléculas, designados como alérgenos, cada uno de los cuales es capaz de provocar una reacción alérgica de Tipo I, mediada por IgE, según la clasificación de Gell y Coombs.

La composición química del grano de polen incluye minerales (K, Na, P, Ca, Mg, S (4%) y también microcantidades de Al, Mn, Cu, Ti, Si y Bo), un 50% de carbohidratos (azúcares asociados a proteínas, almidón, calosa, pectinas, celulosa, carotenos y lignina), ácidos orgánicos (fórmico, acético, valeriánico, oleico, linoleico, palmítico, mirístico y ascórbico), lípidos, terpenos (farnesol, geraniol y linalol), esteroides (colesterol, estigmasterol y β -estradiol), aminoácidos, enzimas y proteínas, ácidos nucleicos y vitaminas (Stanley & Linkens, 1974).

De todos estos componentes los que son susceptibles de ser alérgenos polínicos son las proteínas enzimáticas o no, las glucoproteínas o las lipoproteínas de mediano y bajo peso molecular, concretamente las que tienen un peso comprendido entre 10 y 70 kDa (Guidos & Almeida, 2005; Suárez-Cervera & Seoane-Camba, 2005), extracelulares o intracelulares, que se difunden a través de la pared del polen cuando está en contacto con un medio húmedo o acuoso (Knox, 1993; Casas *et al.*, 1996; Knox & Suphioglu, 1996). En su mayor parte son proteínas solubles en agua (lo cual facilita su absorción e interacción con las mucosas) y de gran estabilidad ambiental (hace posible su acumulación en el ambiente y por lo tanto, altos niveles de exposición). Los aeroalérgenos suelen formar partículas de pequeño tamaño (alrededor de 20 μm) fácilmente suspendibles en el aire y capaces de penetrar hasta las vías respiratorias bajas.

Estos alérgenos han sido localizados en cavidades tanto de la exina, como de la intina, además de en los orbículos o corpúsculos de Uebisch de familias tales como Betulaceae, Chenopodiaceae, Fagaceae, Poaceae, Polygonaceae y Urticaceae (Knox & Heslop-Harrison, 1970; Miki-Hirosige *et al.*, 1994; Suárez-Cervera *et al.*, 2003). También se han localizado alérgenos en distintos compartimentos de la célula vegetativa y de la célula generativa (Grote *et al.*, 1993; Taylor *et al.*, 1994; Casas *et al.*, 1996; Márquez *et al.*, 1997 a,b; Vega-Maray, 2002).

Los postulados de Thommen nos indican que para constituir un problema de importante repercusión clínica y de salud pública, los granos de polen deben cumplir una serie de características que son: contener antígenos capaces de desencadenar una respuesta inmunitaria mediada por IgE específica en los individuos sensibles, ser producidos en cantidades elevadas por plantas que crecen en abundancia y ser transportados fácilmente por la atmósfera a largas distancias.

Un individuo es alérgico, y por lo tanto propenso a padecer enfermedades alérgicas, cuando presenta una predisposición genética a desarrollar respuestas de hipersensibilidad frente a alérgenos que son inocuos para individuos que carecen de esa predisposición genética (García Hernández, 2010).

En la tabla 1 se hallan detallados los tipos de alérgenos más frecuentes según su procedencia:

Tipos de alérgenos	Los más frecuentes
Ambientales	Polen, esporas, ácaros y otros
Alimentarios	En leche, huevos, frutos secos, etc.
Venenos de insectos	Picadura de avispa
Fármacos y haptenos	Penicilinas
Otros	Metales, látex

Tabla 1. Tipos de alérgenos más frecuentes.

Una molécula alergénica contiene un número determinado de epítomos (determinantes antigénicos), que pueden ser continuos o discontinuos, dependiendo de si están formando una secuencia continua en la estructura primaria de la proteína o si su proximidad está determinada por la estructura tridimensional de la misma (Huecas, 2001).

La reactividad cruzada es un proceso por el cual las IgEs de un paciente producidas frente a un determinado alérgeno, pueden ser reactivas frente a otro alérgeno con el que el individuo no ha entrado previamente en contacto. Para que se produzca reactividad cruzada entre dos o más alérgenos, es necesario que haya una similitud estructural entre ellos, luego todas aquellas proteínas homólogas, presentes en distintas fuentes biológicas, serían candidatas para presentar reactividad cruzada. En la reactividad cruzada pueden estar implicados determinados epítomos que comparten distintos alérgenos sin que la similitud estructural en el resto de la proteína sea elevada.

A las proteínas con un alto nivel de similitud estructural o funcional, sumamente conservadas entre especies diferentes se les denomina panalérgenos, se encuentran en diferentes fuentes alergénicas y son responsables de fenómenos de reactividad cruzada, especialmente entre alérgenos respiratorios y alimentarios (incluso, en ocasiones, de géneros y familias taxonómicas muy distantes). Son panalérgenos las profilinas, las polcalcinas, las proteínas de transferencia de lípidos no específicas y el cluster de Bet v 1, entre otros.

1.7.2. Nomenclatura de los alérgenos

La Bioquímica de los alérgenos es respaldada por un sistema de nomenclatura linneano, que es actualizado, aprobado y mantenido por el Subcomité de Nomenclatura de Alérgenos de la Organización Mundial de la Salud y la Unión Internacional de Sociedades Inmunológicas (WHO/IUIS) (Chapman *et al.*, 2007; Chapman, 2008; Martínez-Fernández *et al.*, 2011).

Esta nomenclatura de alérgenos se usa únicamente para las moléculas que inducen reacciones alérgicas mediadas por IgE en los seres humanos y sólo las que induzcan IgE específica en más del 5% de los pacientes (King *et al.*, 1994b).

De este modo los alérgenos se nombran a partir del binomio de la especie, con las tres primeras letras del género y la primera letra correspondiente a la parte específica. El nombre completo se escribe con la primera letra mayúscula y en tipo normal sin cursiva. El número arábigo que acompaña a las letras denota o el orden de identificación del alérgeno dado o bien su importancia en las enfermedades alérgicas (Martínez-Fernández *et al.*, 2011), por ejemplo, los alérgenos de *Platanus acerifolia* Pla a 1, Pla a 2 (King *et al.*, 1994a).

Una parte clave de la nomenclatura sistemática de la OMS/IUIS es que el alérgeno debe satisfacer criterios bioquímicos, que definen la estructura molecular de la proteína, y criterios inmunológicos, que definen su importancia como un alérgeno, demostrando su actividad antigénica tanto *in vitro* como *in vivo*.

Cada alérgeno tiene un número de acceso en bases de datos del Instituto Europeo de Bioinformática (Laboratorio Europeo de Biología Molecular) (EMBL-EBI; <http://www.ebi.ac.uk>), así por ejemplo, M57476 es el número para Lol p 1, X78813 para Phl p 1 y S38289 para Lol p 5b.

1.7.3. Clasificación de los alérgenos

Los alérgenos de polen fueron clasificados en 29 de las 7868 familias de proteínas (Radauer & Breiteneder, 2006).

Un gran grupo de alérgenos del polen pertenecen a las familias de las expansinas, las profilinas (proteínas que regulan el ensamblaje de filamentos de actina) y las proteínas ligantes de calcio o polcalcinas, mientras que la mayoría de los alérgenos de los alimentos procedentes de plantas pertenecen a las familias de las prolaminas, las cupinas o las profilinas. También se han descrito alérgenos con actividad ribonucleasa, que son inhibidores de la tripsina o están relacionados con el transporte de proteínas (Bufe *et al.*, 1995; Steward & Thompson, 1996). Por ejemplo, Phl p 11 es un ácido polipéptido de 15,8 KDa que es inhibidor de la tripsina de soja (Marknell De Witt *et al.*, 2002).

La clasificación de los alérgenos del polen en familias de proteínas ayuda a predecir la reactividad cruzada, diseñar dispositivos integrales de diagnóstico, y evaluar el potencial alergénico de las nuevas proteínas. La búsqueda de homologías de secuencia ha incluido a los alérgenos en familias particulares de proteínas y ha proporcionado pistas importantes para conocer su función biológica.

Estas familias de proteínas más frecuentes están presentes en los siguientes cuatro grupos de alérgenos:

-En alérgenos de interior (ácaros, alérgenos de animales, cucarachas y esporas fúngicas): enzimas proteolíticas (proteasas de serina y cisteína), lipocalinas (proteínas de unión de ligandos lipofílicos), tropomiosinas, albúminas, proteínas de unión a calcio, inhibidores de la proteasa.

-En alérgenos de exterior (polen y las esporas de hongos): proteínas de la planta relacionadas con la patogénesis (o mecanismos de defensa de las plantas) (pathogenesis-related proteins o proteínas PR) (Breiteneder & Ebner, 2000; Hoffman-Sommergruber, 2000), pectatoliasas, β -expansinas, proteínas ligantes de calcio (polcalcinas), inhibidores de la tripsina

(Aalberse & Rob, 2000; Gadermaier *et al.*, 2004; Radauer & Breiteneder, 2006; Radauer *et al.*, 2006; Chapman, 2008).

-En alérgenos alimentarios (frutas, verduras, frutos secos, leche, huevos, mariscos y pescados): proteínas de transferencia de lípidos (LTP), profilinas, proteínas de almacenamiento de semillas, lactoglobulinas, caseínas, tropomiosinas, parvalbúminas, etc. (Vieths *et al.*, 2002; Breiteneder & Radauer, 2004; Chapman *et al.*, 2007).

-En alérgenos inyectados (venenos de insectos y algunas proteínas terapéuticas): fosfolipasas, hialuronidasas, proteínas relacionadas con la patogénesis, asparaginasa.

Atendiendo a criterios de “frecuencia” (prevalencia de las IgE específicas) y de “potencia” (valor medio de las IgE específicas) los alérgenos se clasifican en:

-Alérgenos principales o mayores: aquellos que provocan reacción en la mayoría de los pacientes, mayor del 90% en la prueba del pinchazo o Prick test, o mayor del 50% mediante la técnica CRIE o cuantificación de la Ig E específica.

-Alérgenos menores: aquellos que, sin embargo tienen un efecto importante sólo en un número pequeño de pacientes (10% o menos) o un efecto bajo en un número grande de pacientes.

Desde hace años se han conocido varias estructuras cristalográficas de alérgenos, las cuales han servido para realizar los primeros análisis comparativos entre ellos. Las primeras estructuras de alérgenos aparecidas en el PDB (Protein Data Bank) tenían en común ser esféricas y elípticas (Rouvinen *et al.*, 1999). Posteriormente, se realizó una clasificación en base a los plegamientos de estructura secundaria predominantes (Tabla 2).

A pesar del mayor conocimiento adquirido en los últimos años sobre la estructura y función de los alérgenos, poco se sabe de las razones por las cuales ciertas proteínas, y no otras, actúan como alérgenos. En general, la estabilidad estructural es importante para su permanencia en el medio ambiente antes de ser inhalados.

El límite inferior lo determina el mínimo grado de complejidad molecular necesario para que sea una molécula inmunogénica y el límite superior la capacidad para atravesar la membrana de las mucosas (Mygind *et al.*, 1996). Además, han de ser proteínas muy solubles y estables en los fluidos corporales. Así, vemos que la capacidad de un material biológico para inducir alergia guarda relación directa con su grado de accesibilidad al organismo. Por ello, los alérgenos más comúnmente asociados a enfermedades atópicas son los inhalados (aeroalérgenos) y los ingeridos (alérgenos alimentarios).

Familia	Plegamiento de la estructura secundaria	Alérgenos
Tipo 1	Hojas β antiparalelas	Familia de las Inmunoglobulinas Grupo 1,2, 3 y 11 de las Poaceae Grupo 2, 3, 6 y 9 de los ácaros Serín-proteasa Ole e 1
Tipo 2	Hojas β antiparalelas íntimamente asociadas a una o más hélices α	Grupo 1 de los árboles Lipocalina B-lactoglobulina Can f 1, Can f 2 Bos d 1 Equ c 1 Profilinas Bla g 2
Tipo 3	Hojas β y hélices α poco asociadas	Grupo 1 de los ácaros Lisozima-Lactoalbúmina Grupo 5 de los vegetales Grupo 4 de las Poaceae Grupo 7 de los árboles Fosfolipasa A2
Tipo 4	α -hélice	Proteína de transferencia lipídica inespecífica Hemoglobina de insectos Calmodulina Bet v 4 Phl p 7 Albúmina sérica
Tipo 5	Otras estructuras	Amb e 1, Amb e 2 Cry j 1 Ovoalbúmina Amb e 5, etc...

Tabla 2. Clasificación de los alérgenos según plegamiento (Aalberse & Rob, 2000).

Muchas proteínas que actúan en el proceso de hidratación del grano de polen y crecimiento del tubo polínico, que de manera natural ocurre en la superficie del estigma y que tiene como finalidad obtener el éxito en los primeros momentos de la germinación, tienen actividad enzimática y son alérgenos. Estas proteínas son: las pectatoliasas, la poligalacturonasa, los inhibidores de la invertasa y las proteínas transportadoras de lípidos (Suárez-Cervera *et al.*, 2008b).

En granos de polen de diferentes familias se ha conseguido purificar numerosos alérgenos (Valenta *et al.*, 1991; Deviller, 1995; Asturias *et al.*, 1997a, b, 2005; Martínez & Asturias, 2000; Martínez *et al.*, 2002; Chapman, 2008; Postigo *et al.*, 2009).

Sin embargo, no se ha encontrado ninguna característica molecular común que marque una proteína para definirla como alérgeno (Aalberse & Rob, 2000).

2. La Aerobiología y la Salud Pública

Existen referencias de enfermedades alérgicas a alimentos y de cuadros de asma alérgica desde la antigüedad. Quizás la primera referencia a un cuadro compatible con asma alérgica la hizo el médico griego de Capadocia Aretaeus en el siglo II a. C. Posteriormente, en el siglo IX d.C. encontramos el escrito del médico iraní Muhammand ibn Zakariya (865-925) titulado en español “Sobre la razón por la que las cabezas de las personas se hinchan en el momento de las rosas y producen catarro”, en el que comunica que el asma se debía al polen de las plantas; texto desconocido hasta su traducción al alemán en 1975.

Desde el siglo XVI existen menciones anecdóticas sobre casos de fiebre del heno, pero no fue hasta principios del siglo XIX cuando el médico inglés John Bostock describió formalmente el “catarro estival” que él mismo padecía (Bostock, 1819, 1828). A partir de este momento los cambios sociales provocados por la revolución industrial en Europa favorecieron el aumento de esta enfermedad y la sociedad comenzó a interesarse por ella. El inglés Blackley y el estadounidense Wyman demostraron la causalidad del polen, pero sus teorías tardarían décadas en ser reconocidas (Blackley, 1873, 1880; Emanuel, 1988; Becker, 1999).

Durante la segunda mitad del siglo XX la alergia ha emergido dramáticamente como un problema clínico global, de salud pública y socioeconómico.

Actualmente todas las patologías alérgicas están en aumento y se considera que las manifestaciones clínicas oculares, rino-sinusales y bronquiales de alergia al polen constituyen, a nivel mundial, la tercera causa de enfermedades crónicas y así se recoge en la reciente declaración escrita, de 21-10-2013, de conformidad con el artículo 123 del Reglamento del Parlamento Europeo, sobre “el reconocimiento de la carga que representan las enfermedades alérgicas respiratorias” para la sociedad europea. En dicho escrito se pide, pues, a la Comisión que fomente la cooperación y la coordinación entre Estados miembros con el objetivo de promover: programas nacionales de alergia que ayuden a reducir la carga de la enfermedad y las desigualdades en materia de salud; la formación en alergias y planes de asistencia multidisciplinarios que ayuden a mejorar la gestión de la enfermedad; el uso de enfoques preventivos y de inducción de tolerancia inmunológica en el tratamiento de la alergia; y la investigación científica sobre factores de riesgo de alergia directos o indirectos, incluida la contaminación.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), Salud Pública es “la Ciencia y el arte de impedir la enfermedad, prolongar la vida y fomentar la salud y eficiencia mediante el esfuerzo organizado de la comunidad para que el individuo en particular y la comunidad en general, se encuentren en condiciones de gozar de su derecho natural a la salud y longevidad”. Salud Pública también se puede definir como “organización distributiva de servicios

gubernativos orientados a la protección de la salud de la comunidad” (Piédrola *et al.*, 1988). Abarca campos como la Epidemiología, la Demografía, la contaminación del agua, del suelo y del aire, la Seguridad Alimentaria, la Sanidad Ambiental, etc.

En relación con la seguridad alimentaria, la legislación fija obligaciones en cuanto la información en el etiquetado sobre estos ingredientes alérgenos (crustáceos, huevo, pescado, cacahuets, soja, leche y derivados, frutos de cáscara, apio, mostaza, sésamo, altramuces, sulfitos y moluscos) y obligaciones a las industrias alimentarias en sus procesos y en sus autocontroles. A partir del 13 de diciembre de 2014, además de ver que "contiene", los ingredientes alérgenos se destacarán mediante una composición tipográfica que los diferencie claramente del resto de la lista de ingredientes (Reglamento 1169/2011).

En relación con la contaminación del aire, la ley 34/2007, de 15 de noviembre, de “Calidad del aire y protección de la atmósfera” define «Contaminación atmosférica» como “la presencia en la atmósfera de materias, sustancias o formas de energía que impliquen molestia grave, riesgo o daño para la seguridad o la salud de las personas, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza”. El Real Decreto 102/2011 (trasposición al ordenamiento jurídico español de la Directiva 2008/50/EC de Calidad del Aire), establece la precisión de determinar aquellas zonas que superen los diferentes umbrales fijados para cada contaminante en cuanto a calidad del aire se refiere.

De acuerdo con los estudios realizados por la OMS y por la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA), las deposiciones de las partículas en el aparato respiratorio se dividen para su estudio en tres regiones: región extratorácica, región traqueobronquial y región alveolar (Figura 6). Las partículas mayores a 10 μm son factibles de ingresar en la zona de la nasofaringe; en cambio, en la región traqueobronquial se pueden depositar partículas de diámetro comprendido entre 10 y 2,5 μm ; para la región alveolar las partículas menores de 2,5 μm y mayores de 0,65 μm se depositan en las terminales de bronquios, bronquiolos y conductos alveolares; por último, las partículas menores de 0,65 μm se depositan en los sacos alveolares pudiendo provocar efectos inflamatorios sobre las células (Esposito *et al.*, 2012; Mazzarella *et al.*, 2012).

La contaminación atmosférica se concibe como la contaminación química de la atmósfera, excluyendo por tanto, la contaminación de naturaleza biológica, el ruido y las radiaciones. Es decir, en lo que se refiere al polen atmosférico, en ningún sitio existe una normativa que fije unos valores límite, objetivo o umbrales de alerta. Sin embargo, la salud pública también engloba al aire como vehículo de infección, de forma clásica, de transmisión aérea de bacterias, virus y hongos.

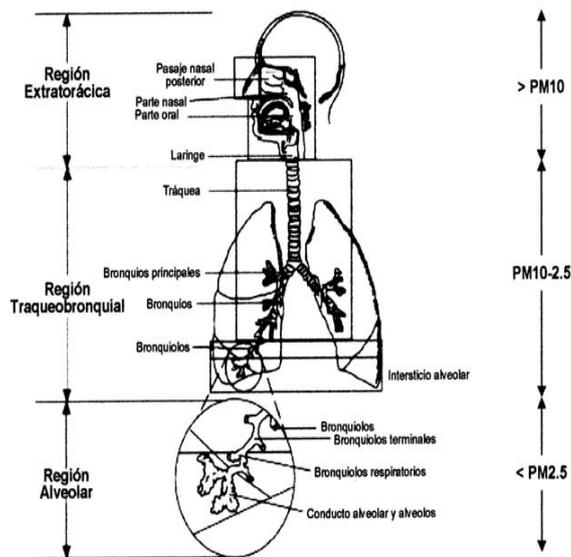


Figura 6. Regiones del aparato respiratorio humano en relación con el acceso de material particulado según su tamaño (EPA, 2002).

Todo esto ha llevado a la Red Española de Aerobiología (REA) a elaborar un “Manual de calidad y gestión” (Galán *et al.*, 2007), donde se establecen unos valores límite de cantidad de polen, en base a los cuales puede considerarse que la Calidad Biológica del Aire, en una determinada zona puede ser:

- Buena**, cuando los tipos polínicos presentes en el aire se mantienen en niveles de concentración polínica bajos.
- Aceptable**, si las concentraciones de granos de polen son bajas para la mayoría de tipos polínicos, salvo para alguno de ellos que presente un mayor potencial alergógeno (ciprés, olivo, plátano, abedul, gramíneas); ó si son moderadas pero se trata de tipos polínicos de escasa alergenicidad.
- Regular**, si la concentración de los tipos polínicos con mayor potencial alergógeno se encuentran dentro de categorías moderadas, o cuando están próximas a moderadas pero coinciden dos tipos polínicos o más de elevado potencial alergógeno.
- Mala**, siempre que alguno de los tipos polínicos más alergénicos esté presente en concentraciones altas, o cuando coexistan concentraciones moderadas de dos tipos polínicos muy alergógenos.

Existen redes aerobiológicas en todas las Comunidades Autónomas, agrupadas y coordinadas por la Red Española de Aerobiología (REA), que a su vez forma parte de la red técnica de trabajo de la Asociación Europea de Aerobiología. Pero, a excepción de la Red Palinocam de Madrid y la Red de Castilla y León, las demás redes no tienen un soporte legal que permita su continuidad y acciones en materia de Salud Pública.

La Consejería de Sanidad de la Comunidad de Madrid puso en marcha en 1992 el Programa de Prevención y Control del Asma, cuyo Subprograma de Vigilancia de la Contaminación atmosférica se planteó como objetivo la creación de una red de control de aeroalérgenos en dicha Comunidad. Para ello se creó la Red Palinocam que comienza a generar datos en 1993. Esta fue la primera red en España, que nace inserta en una estrategia de salud pública.

En 2006 se implantó una red aerobiológica en Castilla y León, mediante convenios de colaboración entre la Consejería de Sanidad y la Universidad de León. La información generada en esta red puede ser consultada por los ciudadanos en el Portal de Salud de la Junta de Castilla y León (<http://www.saludcastillayleon.es/ciudadanos/es/polen>) y mediante el Servicio de Información de niveles de polen de Castilla y León a través de SMS (De Castro-Alfageme *et al.*, 2007). En 2011 se creó el Registro Aerobiológico de Castilla y León (RACYL) (Orden SAN/417/2010, de 26 de marzo) que actualmente continúa con las actuaciones.

3. Características de *Platanus hispanica*

3.1. Aspectos botánicos y ecológicos

El plátano de sombra, *Platanus hispanica* Miller ex Münchh. (sinónimo de *Platanus acerifolia* (Aiton) Willd.) pertenece a la familia Platanaceae Dumort y es un híbrido de una especie euroasiática (*P. orientalis* L.) y americana (*P. occidentalis* L.). Los árboles que se plantan actualmente son fruto de esta hibridación porque resisten mejor las condiciones adversas urbanas, puesto que toleran bien la contaminación atmosférica urbana.

Los plátanos de sombra o de paseo son árboles originarios del mediterráneo oriental, sudeste de Europa y oeste de Asia, que han sido ampliamente cultivados en Europa occidental y son comunes en numerosas ciudades españolas, siendo frecuentes en parques, plazas, calles, paseos, avenidas, bulevares y alineaciones a lo largo de las carreteras.

Es un árbol caducifolio, muy robusto, que puede sobrepasar los 35 m de altura (Figura 7A). De tronco grueso y recto, es fácil de reconocer por su aspecto porque tiene grandes manchas de color blanquecino o amarillento, originadas por el desprendimiento de placas de la corteza (Figura 7B). Las hojas son alternas, palmadas con 3-5 (7) lóbulos ovado-trianguulares, que llegan hasta casi la mitad de la lámina. El margen es entero o posee dientes irregulares y gruesos (Figura 7D).

Son árboles monoicos, con inflorescencias globosas agrupadas sobre largos pedúnculos, que se desarrollan al mismo tiempo que las hojas. Las inflorescencias masculinas son de color amarillo y las femeninas verde-rojizo

(Figura 7C). Las flores son unisexuales, pequeñas y poco vistosas, con cáliz y corola escamosos; las femeninas poseen 3-9 carpelos envueltos en la base por un penacho de pelos y rematados por un estilo largo y rojizo y las masculinas tienen 3-8 estambres de filamentos muy cortos. Los frutos son aquenios coriáceos, claviformes, con pelos rígidos, de color pardo en su base, que maduran al final del verano o en otoño. Aparecen reunidos en cabezuelas esféricas, que pueden permanecer en el árbol hasta la primavera siguiente.

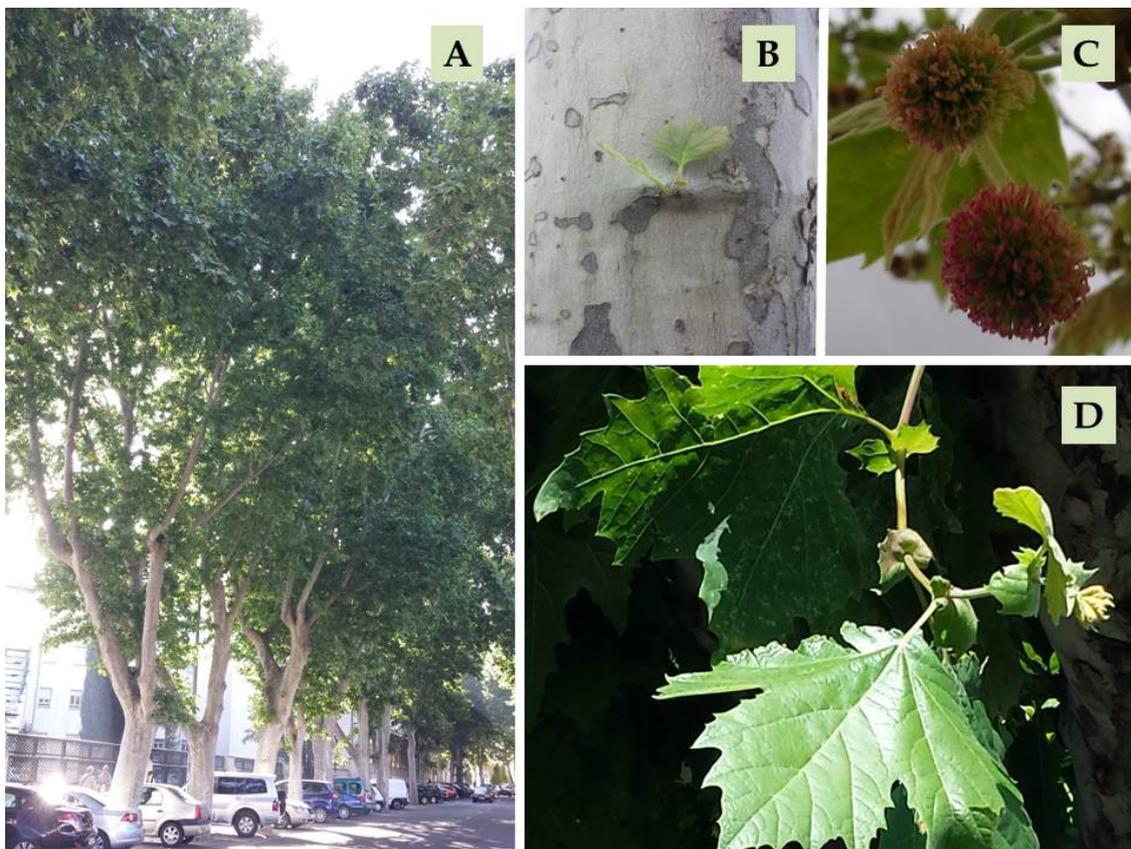


Figura 7. *Platanus hispanica*. Aspecto general en una avenida de Valladolid (A), corteza (B), inflorescencias (C) y hojas (D).

Florece en la segunda quincena de marzo o la primera de abril, pudiendo extenderse hasta mayo en función del clima. Su polinización es anemófila y posee una elevada producción polínica, estimada en 21×10^6 granos de polen por inflorescencia (Tormo *et al.*, 1996). El polen de *Platanus* está presente en la atmósfera de toda España durante un periodo muy corto que comprende, según las zonas, el mes de marzo y la primera quincena de abril o la segunda quincena de abril y el mes de mayo. La información aerobiológica a nivel nacional y regional pone de manifiesto grandes diferencias en las concentraciones de este tipo polínico (Díaz de la Guardia *et al.*, 1999; Gabarra *et al.*, 2002). Así en Barcelona, Madrid, Sevilla y Valladolid, es el tipo polínico mayoritario o casi, mientras que en Almería, Cartagena, Cádiz, Málaga y Oviedo, las cantidades son tan bajas que simplemente nos indican su presencia en la época correspondiente.

De acuerdo con el Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología (Galán *et al.*, 2007) el tipo polínico *Platanus* pertenece al grupo 4 de la calidad del aire, en el que se incluyen especies arbóreas con alta producción polínica y/o alta alergenicidad, tales como *Olea* L., *Platanus* L., *Cupressus* L., *Populus* L., *Acer* L., *Quercus* L., *Pinus* L. y *Ulmus* L.

3.2. Morfología del polen

Forma: isopolar, radiosimétrico, oblato-esferoidal en vista ecuatorial, subcircular a subtriangular en vista polar (Figura 8).

Tamaño: pequeño, con eje polar de 18 a 24 μm de longitud y diámetro ecuatorial de 20 a 26 μm .

Aberturas: trizonocolpado, colpos subterminales más anchos en la zona ecuatorial con la membrana abertural granulada.

Exina: de aproximadamente 2 μm de grosor, reticulada, con lúmenes pequeños e irregulares y muros psilados-equinulados.

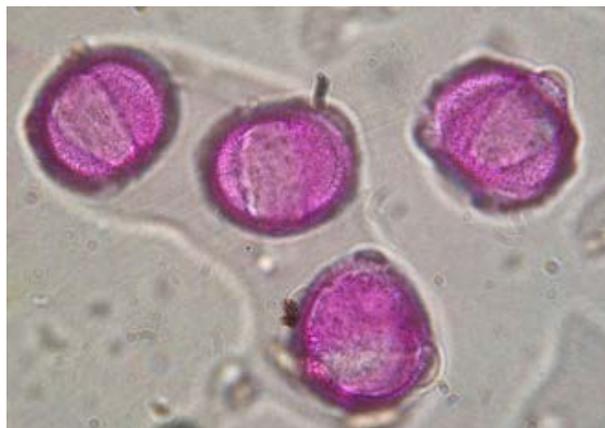


Figura 8. Granos de polen de *Platanus* al microscopio óptico (40x).

3.3. Alérgenos del polen de *Platanus*

Las fracciones alérgicas descritas en el grano de polen de *Platanus* oscilan entre 10 kDa y 50 kDa (Anfosso *et al.*, 1977; Bartolomé *et al.*, 1996; Varela *et al.*, 1997; Valero *et al.*, 1999; Asturias *et al.*, 2002; Enrique *et al.*, 2002). En ellas, las investigaciones han identificado hasta ahora, aparte de la profilina Pla a 8 (Enrique *et al.*, 2002), tres alérgenos: dos alérgenos mayores, Pla a 1 y Pla a 2 y un alérgeno menor, Pla a 3.

El alérgeno Pla a 1 es una proteína de 18 kDa no glicosilada, perteneciente a una clase de alérgenos relacionada con los inhibidores de la invertasa (Asturias *et al.*, 2002, 2003a; Arilla *et al.*, 2005).

Pla a 2, de 42 kDa, es una glucoproteína, que muestra actividad poligalacturonasa, siendo la primera proteína procedente de polen de una angiosperma descrita como alérgeno (Ibarrola *et al.*, 2004). Las poligalacturonasas son enzimas degradadoras de pectinas involucradas en el recambio y remodelado de la pared celular. Presenta reactividad cruzada con poligalacturonasa del tomate y con peptatoliasas del polen de cupresáceas.

Pla a 3 es un alérgeno de 10 kDa, relacionado con la alergia alimentaria al melocotón; es una proteína que transfiere lípidos (LTP) (Lauer *et al.*, 2007).

La profilina Pla a 8 fue caracterizada por Bartolomé *et al.* (1996) y presenta reactividad cruzada con alimentos de origen vegetal como melocotón, manzana, cereza, ciruela, avellana, nuez, melón, kiwi, cacahuete, garbanzo, lechuga, judías verdes y maíz (Enrique *et al.*, 2002).

Los alérgenos mayoritarios de *P. acerifolia* se han localizado en el citoplasma de pólenes maduros y activados. Pla a 1 se encuentra situada en las cisternas del retículo endoplásmico, mientras que Pla a 2 se ha observado en las cisternas y vesículas de Golgi. Ambas proteínas difunden al exterior en el momento de la hidratación del grano de polen (Suárez-Cervera *et al.*, 2008b).

P. acerifolia ha sido descrito como un polen de baja alergenicidad por algunos autores (Asturias *et al.*, 2002), mientras que por otros ha sido considerado como moderadamente alérgico (Bousquet *et al.*, 1984; D'Amato & Spieksma, 1991; Negrini, 1992).

La prevalencia de sensibilización a este tipo polínico en la Europa Mediterránea oscila entre el 3% y el 56% (Anfosso *et al.*, 1977; D'Amato & Lobefalo, 1989; Moral *et al.*, 1998; Valero *et al.*, 1999; Subiza, 2001; Asturias *et al.*, 2002; Fernández-González *et al.*, 2009, 2010). Sin embargo, el porcentaje de pacientes monosensibilizados es bajo. Por otra parte el elevado número de pacientes polisensibilizados sugiere que debe haber reactividad cruzada con alérgenos de otras plantas como Poaceae, *Betula sp.*, *Olea europea*, *Parietaria judaica*, *Plantago ovata*, *Artemisia vulgaris* y Chenopodiaceae (Bartolomé *et al.*, 1996; Fernández-González *et al.*, 2010).

4. Características de Poaceae

4.1. Aspectos botánicos y ecológicos

Las gramíneas constituyen una familia muy extensa, con más de 10.000 especies, de plantas, la mayoría herbáceas. Frecuentemente son dominantes en formaciones vegetales importantes como las sabanas, estepas y vegetación de alta montaña. Muchas de ellas son la base de la alimentación animal, ya que dominan en los prados, y del hombre, puesto que a esta familia pertenecen los trigos (*Triticum sp.*), la cebada (*Hordeum vulgare* L.), el arroz (*Oryza sativa* L.), el

maíz (*Zea mays* L.), el centeno (*Secale cereale* L.), las avenas (*Avena* sp.) y el resto de los cereales, los cuales almacenan en sus frutos gran cantidad de hidratos de carbono (almidón) y en menor proporción grasas y proteínas.

Los géneros que se consideran como fuente más importante de polinosis pertenecen en su mayoría a la subfamilia Pooideae: *Phleum* L., *Dactylis* L., *Lolium* L., *Trisetum* Pers., *Festuca* L., *Poa* L., *Anthoxanthum* L., *Holcus* L., *Agrostis* L. y *Alopecurus* L. En la subfamilia Chloridoideae es importante *Cynodon* L.C.M. Richard. y en la subfamilia Panicoideae, los géneros *Sorghum* Moench y *Paspalum* L.

El género *Lolium* tiene al menos 5 especies en la Península, de las cuales es común *L. perenne* L. (ballico, raigrás) en los pastos frescos o húmedos y *L. multiflorum* Lam. (Figura 9B) y *L. rigidum* Gaudin en cultivos y lugares secos más o menos alterados.

Las gramíneas son plantas anuales o perennes (Figura 9A). Su tallo es hueco y sus hojas son alternas más o menos lineares y estrechas, paralelinervias, envoltentes que nacen de cada nudo, revolviéndose a veces sobre el haz.

La inflorescencia elemental o espiguilla de las gramíneas es una pequeña espiga formada por una o más flores (Figura 9B).



Figura 9. Gramíneas. Aspecto general de *Lolium* sp. (A) y espiguilla de *Lolium multiflorum* (B).

Su polinización es anemófila y comienza lentamente en la primavera, superponiéndose los períodos de polinización de las diversas especies, alcanzando su máximo entre finales de mayo y mediados de julio, coincidiendo con las floraciones de las más frecuentes en zonas ruderales y urbanas. A mediados de septiembre se produce la polinización de alguna otra especie de floración tardía.

De acuerdo con el Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología (Galán *et al.*, 2007) el tipo polínico *Poaceae* pertenece al grupo 2 de la calidad del aire, en el que se incluyen especies herbáceas o arbustivas que alcanzan valores medios en los muestreos y alta alergenicidad, como *Chenopodiaceae* Vent., *Plantago* L., *Rumex* L., *Artemisia* L., *Ericaceae* Juss., *Asteraceae* Dumort y *Helianthus* L.

4.2. Morfología del polen

Forma: heteropolar de simetría radial. De circular a elíptico (Figura 10).

Tamaño: pequeño a mediano (25-50 μm); las especies cultivadas tienen mayor tamaño de grano (hasta 90-100 μm).

Aberturas: monoporado, el poro presenta un opérculo y está rodeado por un anillo.

Exina: su grosor oscila entre 1 y 2 μm y se engruesa ligeramente en el poro. Superficie psilada o con granulaciones finas.



Figura 10. Granos de polen de Poaceae al microscopio óptico (40x).

4.3. Alérgenos del polen de Poaceae

El polen de gramíneas representa la mayor fuente de alérgenos. Es el polen con mayor relevancia alérgica en el mundo entero y principal causa de polinosis.

Los alérgenos de las diferentes especies de gramíneas presentan grandes similitudes fisicoquímicas que explican la gran reactividad cruzada entre ellas. Estas similitudes han permitido la clasificación de los alérgenos en grupos de forma que los componentes de un mismo grupo tienen en común secuencias moleculares independientemente de la especie de procedencia. Actualmente se han identificado y se han descrito hasta 11 grupos de alérgenos de gramíneas basado en su estructura y en sus propiedades biológicas e inmunológicas (Andersson & Lidholm, 2003; Mohapatra *et al.*, 2005).

Los alérgenos del grupo 1 son glicoproteínas ácidas con un peso molecular de 31 kDa a 35 kDa expresadas en varias isoformas. Dentro del grupo 1 está Lol p 1 que tiene un peso molecular de 27 kDa. Tienen una identidad de secuencia del 60% al 70% con la β -expansina, una familia de proteínas implicada en la modificación de las paredes celulares y el crecimiento de las plantas.

Los alérgenos del grupo 2, de tipo ácido, y del grupo 3, de tipo básico, son proteínas no glicosiladas de 10 kDa a 20 kDa que presentan una homología de secuencia del 85% al 90% entre las especies.

Los alérgenos del grupo 4 son glicoproteínas básicas de 50 kDa a 67 kDa que contienen a la vez estructuras α -helicoidales y β -laminares. El 10-15% de su peso molecular son carbohidratos.

Los alérgenos del grupo 5 se presentan en dos grandes grupos de isoformas no glicosiladas (a y b) con una masa de 27 kDa a 33 kDa, de tamaño comparable a los alérgenos del grupo 1. Las variantes entre las dos isoformas presentan un 25-30% de divergencia en sus secuencias de aminoácidos. Hasta la fecha se desconoce el papel funcional y biológico de los alérgenos del grupo 5, pero se ha descrito una actividad ribonucleasa. Los alérgenos del grupo 5 presentan una mayor diversidad que los del grupo 1.

El grupo 6 está representado por una proteína ácida no glicosilada de 13 kDa cuya secuencia N-terminal muestra homología con una zona interna de los alérgenos del grupo 5. Es un alérgeno mayor, reconocido por el 60-70% de los pacientes sensibilizados.

Los alérgenos del grupo 7 son pequeñas proteínas ácidas de 8,6 kDa, fijadoras del calcio del grupo de las polcalcinas, con dos dominios fijadores de calcio y muestra una fuerte reactividad cruzada con otras proteínas fijadoras de calcio como Bet v 3 y Jun o 4 (Tinghino *et al.*, 2002; Verdino *et al.*, 2002).

Los grupos 8 y 9 atribuidos inicialmente de forma ambigua, ya no figuran actualmente en la nomenclatura oficial de los alérgenos de las gramíneas (Larsen & Lowenstein, 1996).

Los alérgenos del grupo 10 son el citocromo C, una proteína básica de 12 kDa (Ekramoddoullah *et al.*, 1981).

El grupo 11 es una glicoproteína de 18 kDa, con una similitud estructural con el inhibidor de la tripsina de la soja (Van Ree *et al.*, 1995).

Los alérgenos del grupo 12 forman parte de la familia de las profilinas, proteínas ácidas de 14 kDa implicadas en la dinámica del citoesqueleto.

Los representantes del grupo 13 son proteínas inestables de 50 kDa a 60 kDa que pertenecen a la familia de las poligalacturonasas. La secuencia de aminoácidos de Phl p 13 revela una identidad de alrededor del 70% con la poligalacturonasa del polen de *Zea mays*.

Los alérgenos de los grupos 1 y 5 son principales o mayores y contribuyen a más del 80% de la alergia al polen de gramíneas (Figura 11); siendo los principales alérgenos a tener en cuenta, debido a que (Niederberger *et al.*, 1998; van Ree *et al.*, 1998; Valenta *et al.*, 1999; Hrabina *et al.*, 2008):

-Los alérgenos del grupo 1 son reconocidos por el 90% de los pacientes alérgicos al polen de gramíneas y representan una parte importante de la relación existente entre las IgE y el extracto de polen;

-La prevalencia de la sensibilización a los alérgenos del grupo 5 es del 65 al 85% y tienen un papel importante en la cantidad de IgE producida por los sujetos alérgicos.

Los alérgenos mayoritarios del grupo 1 presentan un grado de homología altamente significativo (de por lo menos un 90% a nivel de aminoácidos) entre las diferentes especies de Pooideae. La identidad de la secuencia global de los aminoácidos en los alérgenos del grupo 5 de distintas especies varía del 55 al 85%. Esta homología a nivel de los aminoácidos se traduce por una fuerte reactividad cruzada entre las especies (Ferreira *et al.*, 2004).

Los alérgenos menores, pertenecientes a los grupos 2, 3, 4, 7, 10, 11, 12 y 13, suponen menos del 20% del potencial alérgénico del polen de gramíneas.



Figura 11. Prevalencia y potencia alérgénica de los grupos de alérgenos de gramíneas (Hrabina, 2007).

5. Características de Urticaceae

5.1. Aspectos botánicos y ecológicos

Las urticáceas, ampliamente distribuidas en regiones tropicales y subtropicales y más escasas en regiones templadas y frías, son angiospermas dicotiledóneas. Generalmente, son plantas herbáceas y a menudo poseen pelos urticantes especializados. Tienen hojas simples, opuestas o alternas. Las flores son pequeñas, tienen 4 ó 5 sépalos y 4 ó 5 estambres y están agrupadas en inflorescencias axilares.

El periodo de floración de esta familia es muy prolongado extendiéndose desde febrero hasta noviembre y observándose en algunas zonas dos ciclos, uno más largo en primavera y otro más corto en otoño.

La familia Urticaceae Juss. incluye un buen número de plantas, siendo *Urtica* L. y *Parietaria* L. las más extendidas.

El género *Urtica* incluye especies con pelos urticantes que contienen histamina y acetilcolina. Las especies más conocidas de este género son: *U. membranacea* Poir., *U. urens* L. (ortiga menor), *U. dioica* L. (ortiga mayor) y *U. pilulifera* L.

El género *Parietaria* incluye especies sin pelos urticantes, con hojas alternas y sin estípulas (Figura 12). Las dos especies más conocidas son: *P. judaica* L. y *P. officinalis*. La distribución de *P. judaica* y *P. officinalis* es distinta, así *P. officinalis* crece en zonas montañosas hasta los 1000 metros de altura sobre el nivel del mar en varios países de Europa Central y del Sur, mientras que *P. judaica* es más mediterránea, buscando zonas cálidas y luminosas: España, Francia, Italia, Albania, Grecia y Croacia, creciendo en zonas de costa y típicamente en las paredes, por lo que se denomina hierba de los muros (Figura 12A).

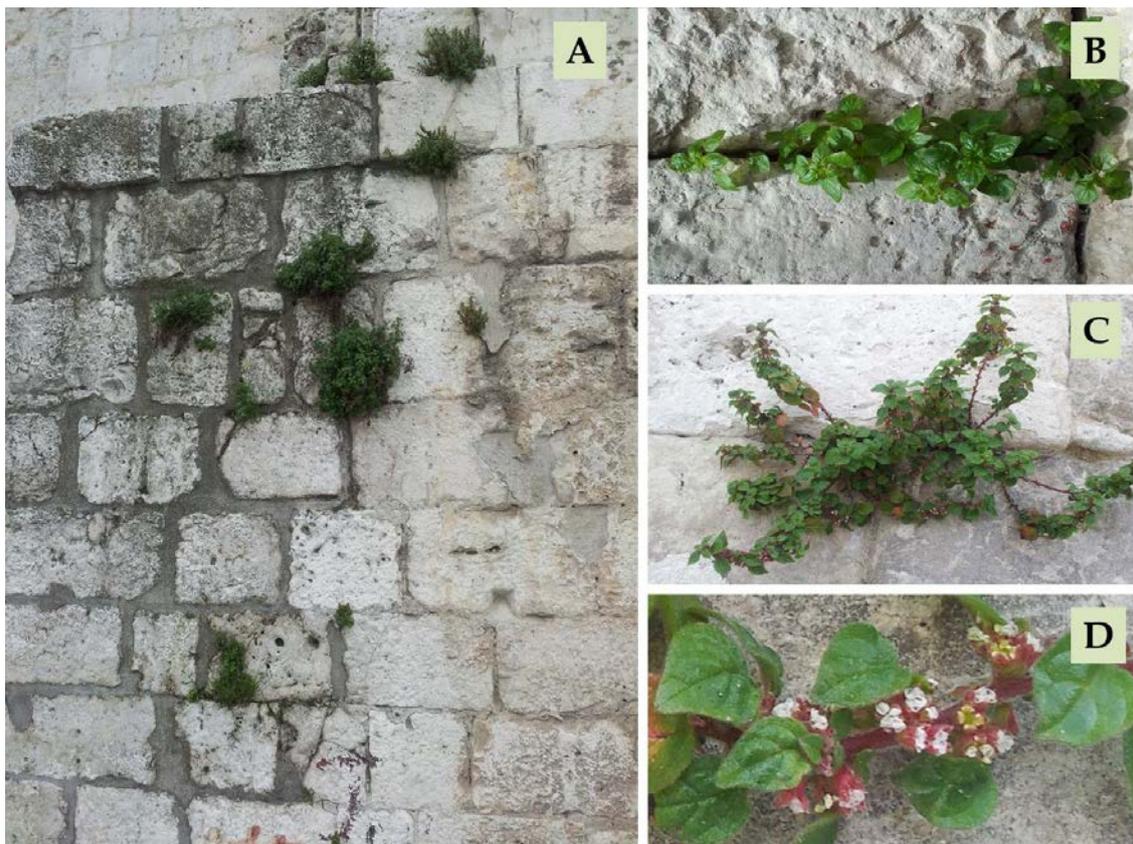


Figura 12. *Parietaria*. Aspecto general sobre los muros de la catedral de Valladolid (A), planta joven (B), planta adulta (C) y flores (D).

El género *Parietaria* es de polinización anemófila. *P. judaica* es una de las especies más comunes de este género en áreas urbanas y rurales (Jato *et al.*, 2010).

En España, la sensibilización alcanza el 25-50% en el área mediterránea, mientras que en el noroeste la prevalencia es más baja, entre el 6% y el 25%. (Subiza Garrido-Lestache *et al.*, 2007).

De acuerdo con el Manual de Calidad y Gestión de la REA el tipo polínico Urticaceae pertenece al grupo 1 de la calidad del aire, en el que se incluyen otras especies herbáceas como son *Urtica membranacea*, *Mercurialis* L., *Echium* L., Fabaceae Lindley, Apiaceae Lindley, *Cannabis* L., Brassicaceae Burnett (Galán *et al.*, 2007).

5.2. Morfología del polen

El tipo polínico *Urticaceae* incluye las especies de *Parietaria* y de *Urtica* a excepción de *Urtica membranacea*, que es otro tipo polínico (Trigo *et al.*, 2008).

Forma: isopolar de simetría radial; esferoidal (Figura 13).

Tamaño: pequeño, de 12-17 μm .

Aberturas: triporado, a veces con 4 o 5 poros.

Exina: grosor menor de 1 μm , con superficie equinulada-verrugosa, con espínulas de tamaño diverso y densamente distribuidas por la superficie.

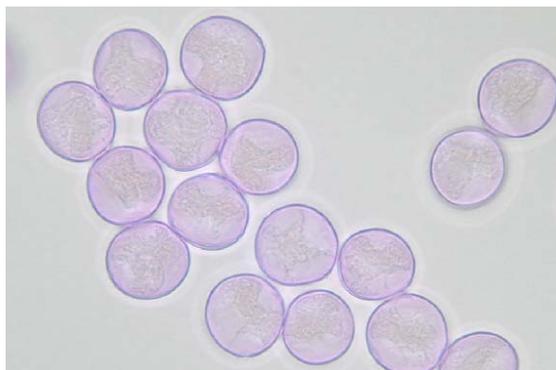


Figura 13. Granos de polen del tipo polínico Urticaceae al microscopio óptico (40x).

5.3. Alérgenos de polen de Urticaceae

El polen de *P. judaica* contiene por lo menos nueve alérgenos, cuyos pesos moleculares se sitúan entre 10 kDa y 80 kDa, provistos de diferentes capacidades de fijación de la IgE (Corbi & Carreira, 1984; Ayuso *et al.*, 1995; Colombo *et al.*, 2003). Entre ellos, Par j 1, en las dos isoformas Par j 1.1.2 y Par j

1.0201 aisladas de genes independientes, y Par j 2 adquieren una relevancia remarcable como alérgenos principales.

Par j 1 y Par j 2 son alérgenos pertenecientes al grupo de las proteínas de transferencia lipídica no específica (ns-LTP) (Asturias *et al.*, 2003b; Colombo *et al.*, 2003; Bonura *et al.*, 2012, 2013). Las proteínas ns-LTP están formadas por moléculas proteicas pequeñas, de aproximadamente 10 kDa, que poseen una gran estabilidad y están presentes de forma natural en todos los organismos vegetales estudiados hasta fechas recientes. Son panalérgenos. En diversas especies se han identificado también como alérgenos, tal es el caso de las rosáceas, prunoideas (melocotón, albaricoque, ciruela) y pomoideas (manzana) y gramíneas además de en las urticáceas del tipo *Parietaria judaica* (Sánchez Monje *et al.*, 1999; Asero *et al.*, 2000; Asero, 2010).

Estas proteínas se caracterizan por su capacidad de transportar lípidos a través de las membranas, una capacidad que justifica su denominación y corresponde por lo menos a algunas de las actividades que desempeñan en las células. Sin embargo, a pesar de las diferentes funciones y de la heterogeneidad de sus secuencias, las ns-LTP tienen una estructura secundaria muy conservada, que consta de hélices alfa (separadas por bucles) y una capa beta plegada. Esta estructura está dotada de la presencia de cuatro puentes (enlaces) disulfuro, formados por ocho restos cisteína.

En Europa la sensibilización a *P. judaica* es más alta en la zona mediterránea que en el norte (Bousquet *et al.*, 2007). El polen de *Parietaria* es una de las mayores causas de reacciones alérgicas en el sur de Europa, afectando al 30% de los pacientes en esta área (Bondi *et al.*, 2011).

6. Caracterización del área de estudio

La ciudad de Valladolid está situada en el centro de la Meseta septentrional de la Península Ibérica; se localiza a 41° 39' de latitud norte y 4° 44' de longitud oeste y a una altitud de 691 metros (Figura 14). En ella se concentra el mayor núcleo de población de la Comunidad Autónoma de Castilla y León, 321.001 habitantes. Valladolid es la capital de la provincia de igual nombre, que tiene una extensión de 8.202 km², y que se encuentra en el centro de esta Comunidad Autónoma, la cual es la más extensa de España.



Figura 14. Ubicación de Valladolid en España.

6.1. Vegetación

La ciudad de Valladolid se encuentra situada, desde el punto de vista biogeográfico, en la Región Mediterránea (Rivas-Martínez *et al.*, 2007).

Según los datos facilitados por el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, el 33-50% del total del territorio vallisoletano se encuentra ocupado por cultivos, en su mayor parte de cereales, pero también predominan extensas masas forestales de *Pinus pinea* L. y *Pinus pinaster* Aiton, sobre arenas de origen eólico, acompañadas de una buena muestra de flora silicícola, en un entorno ya degradado (Blanco Castro, 1989).

En las riberas del río Pisuerga, que atraviesa la ciudad, y en otros ríos de la provincia incluido el canal de Castilla, las especies de árboles más comunes son *Populus nigra* L., *Populus alba* L., *Salix* L., *Ulmus minor* Miller, *Fraxinus angustifolia* Vahl, *Alnus glutinosa* (L.) Gaerlner, *Tamarix gallica* L. y *Tamarix africana* Poiret, y algunos árboles frutales. Estos árboles se encuentran acompañadas en su estrato inferior por una no menos numerosa comunidad de arbustos como *Crataegus monogyna* Jacq., *Prunus spinosa* L., *Lonicera* L., *Ligustrum vulgare* L., *Cornus sanguinea* L., *Sambucus nigra* L., *Elaeagnus angustifolia* L., *Rubus ulmifolius* Schott y *Rosa* L.

Dentro del arbolado ornamental de la ciudad cabe distinguir dos grupos: el integrado por especies con polinización anemófila y/o mixta y el formado por especies entomófilas y por tanto con escasa aportación al contenido polínico atmosférico.

El primer grupo está dominado por el plátano de sombra (*Platanus hispanica*), utilizado como arbolado de alineación, en el Paseo Zorrilla, la Acera de Recoletos, la Plaza Circular, La Plaza de la Trinidad, la Plaza del Ejército, Ramón y Cajal, Paseo del Príncipe en el Campo Grande, etc., el cual representa el 39% del total de la flora ornamental de la ciudad. Aproximadamente, existen 30000 plátanos de sombra, con un sistema de poda que afecta a los ejemplares jóvenes, a ejemplares muy próximos a edificios y a los ejemplares cuyas ramas puedan afectar a cualquier elemento urbanístico; por el contrario los viejos plátanos que se encuentran en las avenidas y calles mantienen sus grandes copas y ramas durante todo el año, dando un aspecto característico a la ciudad (Figura 15).

También destaca la presencia de ejemplares de álamos (*Populus alba* var. *pyramidalis* Bunge.) en las riberas del río Pisuerga a su paso por la ciudad y que suponen el 3% del total.

Dentro de las especies con polinización primaria entomófila, predominan el aligustre (*Ligustrum vulgare* L.), la falsa acacia (*Robinia pseudoacacia* L.), las catalpas (*Catalpa bignonioides* Walter) y los tilos (*Tilia platyphyllos* Scop.) con un representación del 21%, 10%, 5% y 5% del total de la flora ornamental, respectivamente.

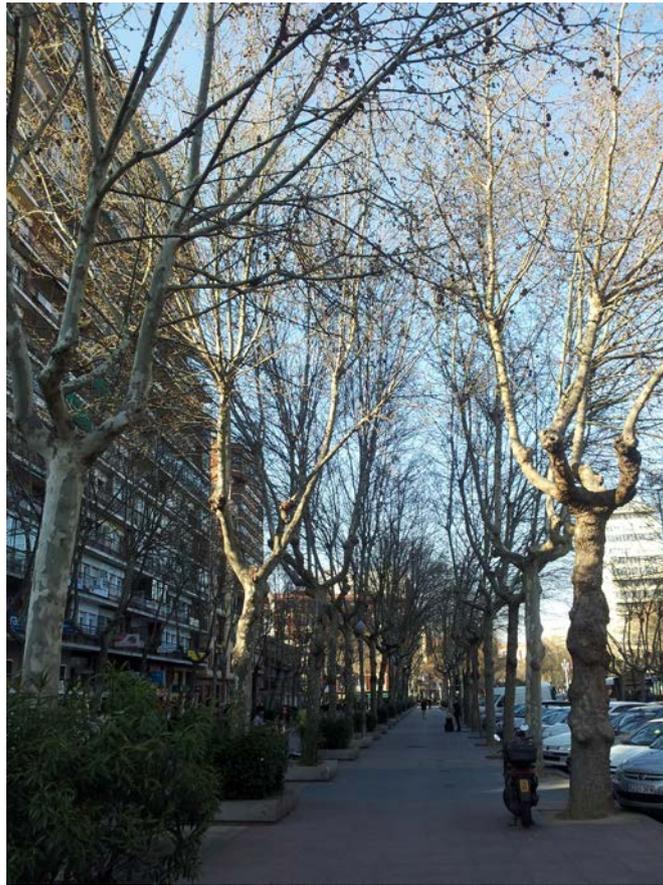


Figura 15. Ejemplares de *Platanus acerifolia* en el Paseo de Zorrilla de Valladolid.

Los elementos arbustivos (*Cotoneaster horizontalis* Decne, *Cytisus* Desf., *Euonymus* L., *Nerium oleander* L., *Genista* L., *Berberis* L., *Viburnum tinus* L., etc. y otros en setos como *L. vulgare* y cupresáceas) están menos representados, en torno al 2% del total de plantas ornamentales.

La construcción de edificios en los alrededores de la ciudad ha disminuido el número de comunidades de plantas nitrófilas. Éstas incluyen herbáceas anuales que presentan un ciclo biológico muy rápido gracias a la nitrificación del suelo urbano como consecuencia de la actividad antrópica (aporte de desechos orgánicos y de nitrógeno a la atmósfera por el uso de vehículos de motor y calefacciones, los cuales precipitan en forma de lluvia ácida). Sin embargo, este tipo de vegetación es frecuente en cunetas, escombreras y terrenos baldíos de la ciudad, destacando las ortigas (*Urtica* L.), las gramíneas (*Avena* L., *Bromus* L., *Poa* L., etc.), los amarantos y cenizos (*Amaranthus* L./*Chenopodium* L.), las parietarias (*Parietaria* L.), las crucíferas (*Capsella* Medik., *Diploaxis* DC., *Raphanus* L., etc.), las compuestas (*Calendula* L., *Carduus* L., *Chamaemelum* Mill., *Senecio* L., etc.), las euphorbiáceas (*Mercurialis annua* L., *Euphorbia* L.), las acederas (*Rumex* L.), los llantenes (*Plantago* L.), las boragináceas (*Echium* L., *Anchusa* L., *Heliotropium* L.) y las malvas (*Malva* L.), entre otros.

La actividad vegetativa de las plantas de esta localidad se prolonga durante los 12 meses del año.

6.2. Climatología y parámetros meteorológicos

El resumen climatológico proporcionado por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en el periodo medio de referencia de 30 años (1971-2000) de la estación termopluiométrica “Valladolid-Observatorio” se muestra en el diagrama ombrotérmico (Figura 16).

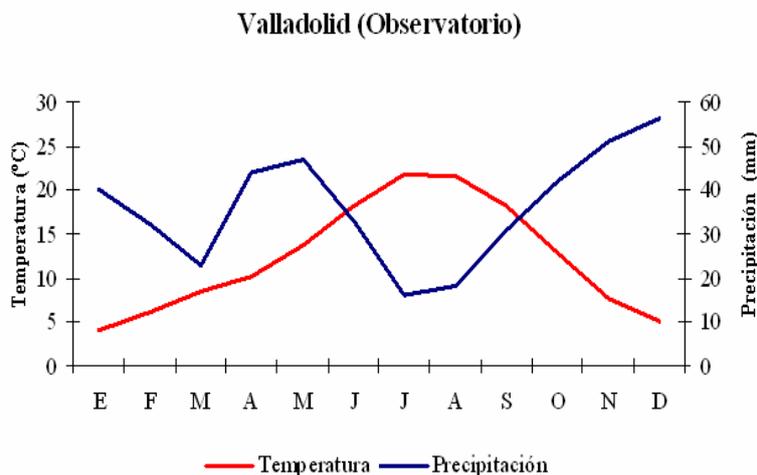


Figura 16. Diagrama ombrotérmico de Valladolid (periodo referencia 1971-2000) (AEMET).

Los inviernos son fríos, con medias mínimas mensuales que raramente llegan a 1 °C en los meses de enero, febrero y diciembre, y son frecuentes las nieblas y las heladas. Los veranos suelen ser calurosos y secos, con una media de las temperaturas máximas mensuales en torno a los 30 °C (julio y agosto).

La temperatura anual media es de 12,3 °C, con una temperatura media de 21,7 °C durante el mes más cálido (julio) y 4 °C el mes más gélido (enero).

El nivel anual de precipitaciones recogidas es bajo (435 mm) y están repartidas de forma bastante regular a lo largo del año, si bien hay un mínimo acusado en verano (julio y agosto) y otro en primavera (marzo) (Figura 16), siendo en forma de tormenta en un número anual medio de 17 días.

Por otro lado, se registra un número anual elevado de horas de sol (2534) aunque también existe una media importante de días de niebla (42) y de helada (61), siendo escasos los días en los que se producen nevadas (8) como consecuencia de su particular localización geográfica.

El Bioclima más representativo de la Comunidad Autónoma es Mediterráneo (82%) pero también hay zonas de Bioclima Templado Oceánico Submediterráneo (15%) y Templado Oceánico (3%) (Del Río González, 2005).

En cuanto a la clasificación bioclimática propuesta en función de variables climáticas y de la actividad biológica de las plantas, la ciudad de Valladolid presenta un Bioclima Mediterráneo Pluviestacional Oceánico Semicontinental (Rivas-Martínez *et al.*, 2007).

6.3. Contaminantes atmosféricos

La Red de Control de la Contaminación Atmosférica de Valladolid (RCCAVA), perteneciente al Ayuntamiento de Valladolid, evalúa la calidad del aire de la ciudad, conociendo las concentraciones de los diferentes contaminantes presentes en el aire, con el objetivo de proteger la salud de las personas emitiendo informes de calidad del aire desde 1999.

La Red controla los siguientes contaminantes atmosféricos: partículas en suspensión, dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, monóxido de nitrógeno, monóxido de carbono y ozono, y cuenta con las siguientes 11 Estaciones de Medida:

- Arco de Ladrillo 2, sita en calle Arco de Ladrillo 3.
- La Rubia, sita en Carretera de Rueda 1.
- Vega Sicilia, sita en Paseo de Zorrilla 191.
- Labradores 2, sita en calle Niña Guapa 2.
- Santa Teresa, sita en Avda. Santa Teresa 26.
- Puente de Regueral, sita en calle Leopoldo de Castro 6.
- Paseo del Cauce, sita en Paseo del Cauce s/n.
- Fuente de Berrocal, sita en Plaza de la Zarzuela s/n.
- Cementerio del Carmen, en el interior del Cementerio del Carmen.
- Estación meteorológica, en el interior del Cementerio del Carmen.
- Perfilador Sodar, en el interior del Cementerio del Carmen.

Según los Informes de Calidad del Aire de los años 2009, 2010 y 2011 de la citada Red, ninguna de las estaciones ha superado los valores límite establecidos por el RD 1073/2002 y el RD 102/2011, para material particulado (PM10, PM2,5), óxidos de nitrógeno (NO, NO₂), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), ozono (O₃) y Benceno (C₆H₆) (Tabla 3).

Contaminante atmosférico	Valor límite
PM10	40 µg/m ³
PM2,5	25 µg/m ³
Dióxido de azufre	125 µg/m ³
Monóxido de nitrógeno	-
Dióxido de nitrógeno	40 µg/m ³
Monóxido de carbono	10 mg/m ³
Ozono	120 µg/m ³
Benceno	5 µg/m ³

Tabla 3. Valores límite de los contaminantes atmosféricos (Real Decreto 102/2011).

III. Material y métodos

1. Análisis de los parámetros meteorológicos

A efectos de analizar la posible influencia de diversos parámetros meteorológicos en las variaciones de las concentraciones de granos de polen y de alérgeno en la atmósfera de Valladolid durante los años 2009 a 2011, se solicitaron varios datos meteorológicos a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) de Castilla y León, Estación de Valladolid. Los datos correspondientes a la radiación se obtuvieron del registro de la Red SIAR (Sistema de Información Agroclimática para el Regadío) del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACYL), en concreto de la Estación VA-101 Finca Zamadueñas (Valladolid).

A continuación, se detallan los parámetros meteorológicos analizados en este estudio.

a) Temperaturas. Las temperaturas tenidas en cuenta para este trabajo se expresan en °C y son las siguientes:

- Tmax: Temperatura máxima del día.
- Tmin: Temperatura mínima del día.
- Tmed: Temperatura media diaria (media de Tmax y Tmin).
- TH: Temperatura húmeda media obtenida con el termómetro de bulbo húmedo.
- PR: Temperatura de punto de rocío media a la cual debe enfriarse un volumen de aire, a presión y humedad constante, para alcanzar la saturación.

b) Humedad relativa. Humedad relativa media diaria (HR) expresada en %.

c) Precipitación. De las distintas precipitaciones suministradas por la AEMET, se ha utilizado la precipitación total diaria, la cual se mide en milímetros (mm).

d) Evaporación. Se utiliza la evaporación en tanque diaria y se expresa en milímetros (mm).

e) Insolación. Se refiere al número de horas de sol que hay a lo largo del día.

f) Radiación. Se utilizan los datos de Radiación global total diaria expresada en MegaJulios por metro cuadrado (MJ/m²).

g) Viento. De este parámetro, se tienen en cuenta dos magnitudes: la velocidad expresada en km/hora (calculada a partir del recorrido del viento de 00 a 24 horas) y la dirección, es decir, el número de horas en las que el viento procede de cada uno de los cuatro cuadrantes de la circunferencia (Figura 17). También se han considerado los periodos de calma.

- FR1C: Frecuencia del viento procedente del primer cuadrante (NE).
- FR2C: Frecuencia del viento procedente del segundo cuadrante (SE).
- FR3C: Frecuencia del viento procedente del tercer cuadrante (SO).
- FR4C: Frecuencia del viento procedente del cuarto cuadrante (NO).
- FRCALMA: Frecuencia de calmas

No se dispone de los datos de dirección del viento en los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 2011.

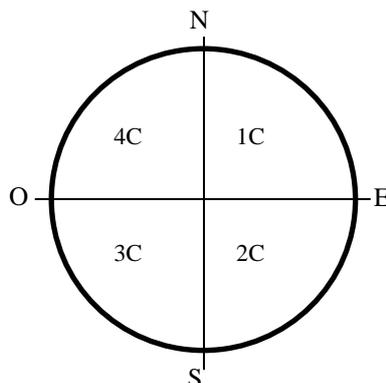


Figura 17. Situación de los 4 cuadrantes.

2. Análisis de los contaminantes atmosféricos

Los registros de material particulado, óxidos de nitrógeno y monóxido de carbono utilizados en esta memoria proceden de los obtenidos en una de las 11 estaciones que la Red de Control de la Contaminación Atmosférica de Valladolid (RCCAVA) tiene repartidas por toda la ciudad, concretamente corresponden a la Estación Arco de Ladrillo 2, ubicada en la calle Arco de Ladrillo nº 3. Se ha elegido esta estación por ser la más cercana a la ubicación de los captadores de polen y alérgenos (Figura 18).

Los valores de dióxido de azufre, ozono y benceno proceden de la Estación de Puente de Regueral, ubicada en la calle Leopoldo de Castro nº 6, dado que es la estación más próxima a los captadores de polen y alérgenos, en la que se miden estos parámetros (Figura 18).

Los instrumentos de medida localizados en todas las estaciones, son totalmente automáticos y realizan la medida de forma continuada en el tiempo. Los datos de todos los parámetros de contaminantes atmosféricos utilizados en este trabajo se expresan en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, a excepción de los datos de monóxido de carbono que se expresan en mg/m^3 .

Las técnicas analíticas empleadas para determinar cada contaminante y las normas en las que se basan se muestran en la tabla 4.

Contaminante	Técnica analítica	Norma EN
PM10 / PM2,5	Atenuación de la absorción b	
PM10	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 al de referencia.	UNE EN 12341-1999
NO / NO ₂	Quimioluminiscencia	UNE EN 14211:2006
CO	Espectrometría infrarroja no dispersiva	
SO ₂	Fluorescencia pulsante en el Ultravioleta	UNE EN 14212:2006
O ₃	Fotometría UV	
Benceno	Cromatografía de gases - PID	UNE EN 14662-3:2006

Tabla 4. Técnicas analíticas de determinación de contaminantes atmosféricos.



Figura 18. Ubicación de las estaciones de control de la contaminación atmosférica Puente de Regual (●) y Arco de Ladrillo (●), la estación aerobiológica (●) y la estación meteorológica (●).

3. Análisis de la concentración de polen en el aire

El periodo de muestreo de polen comprende desde el 1 de enero del año 2009 hasta el 31 de diciembre del año 2011. En dicho periodo faltan las muestras de algunos días debido a problemas técnicos. Concretamente faltan los datos correspondientes a los días: desde el 5 al 11 y del 15 al 18 de enero de 2009, desde el 7 al 13 de junio, del 23 al 29 de agosto, del 4 al 10 y del 26 al 28 de octubre y del 11 al 12 de diciembre del 2010 y desde el 17 al 23 de enero, del 11 al 17 de abril, del 31 de mayo al 5 de junio, del 19 al 21 de julio, del 19 al 25 de septiembre y del 31 de octubre al 6 de noviembre de 2011.

Para analizar el comportamiento de los granos de polen en el aire se ha utilizado el periodo polínico principal (PPP), que es la época del año en la que se encuentra en la atmósfera la mayor parte del polen emitido por un taxón. Son varios los autores que han definido este periodo, en este trabajo hemos utilizado el establecido por Andersen (1991). Según este autor, el PPP se inicia cuando la suma de las medias diarias llega al 2,5% del total anual y finaliza cuando alcanza el 97,5%, con lo que incluye el 95% del polen total anual.

Las concentraciones de granos de polen en la atmósfera se expresan en forma de Índice Polínico, el cual no tiene unidades y consiste en el sumatorio de las concentraciones medias diarias expresadas en granos de polen/m³ en un periodo de tiempo (Buters *et al.*, 2012).

Cada uno de los tipos polínicos estudiados tiene una gran importancia clínica y por ello en el Manual de Calidad y Gestión de la REA (Galán *et al.*, 2007) se han establecido Grupos y Categorías polínicas teniendo en cuenta no solo la concentración de polen sino también numerosos factores ambientales que condicionan la presencia o ausencia de ciertas especies vegetales que pueden intervenir en la aparición de síntomas en las personas afectadas de polinosis. Dichas categorías se muestran en la tabla 5 y se analizarán en el presente trabajo.

Tipo polínico	Grupo	Categorías			
		Nulo	Bajo	Moderado	Alto
<i>Platanus</i>	4	<1 polen/m ³	1-50 polen/m ³	51-200 polen/m ³	>200 polen/m ³
Poaceae	2	<1 polen/m ³	1-25 polen/m ³	26-50 polen/m ³	>50 polen/m ³
Urticaceae	1	<1 polen/m ³	1-15 polen/m ³	16-30 polen/m ³	>30 polen/m ³

Tabla 5. Tipos polínicos y categorías de Calidad del aire de la REA.

3.1. Muestreo de los granos de polen

Para el presente trabajo se ha seguido la metodología propuesta por la Red Española de Aerobiología, en lo que respecta a la obtención, procesado y recuento de las muestras (Galán *et al.*, 2007).

El captador utilizado en este estudio es de tipo volumétrico por succión y se basa en el principio de impacto (Hirst, 1952). Este captador es un modelo Lanzoni (VPPS 2000) y se encuentra instalado en la azotea del edificio 4 de la Consejería de Sanidad de la Junta de Castilla y León, sita en el Paseo Zorrilla nº 1 de Valladolid, a unos 15 m de altura, no habiendo obstáculos que bloqueen la llegada de masas de aire. Este tipo de captadores poseen una forma aerodinámica, con el objeto de que se produzcan las menores turbulencias en el aire que impacta con el aparato.

El captador consta básicamente de tres unidades (Figura 19): cuerpo central, veleta y bomba de vacío.

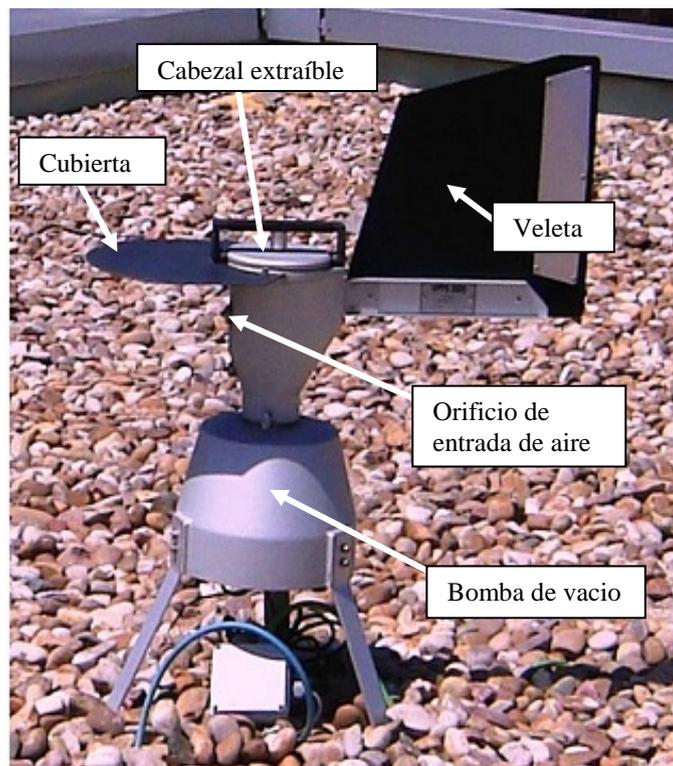


Figura 19. Captador tipo Hirst modelo Lanzoni® utilizado en el estudio.

El cuerpo central consta de un **orificio de entrada de aire**, de 14 x 2 mm, y de un **cabezal extraíble** que tiene un mecanismo de relojería que se carga manualmente una vez por semana y que posibilita el movimiento del tambor a razón de 2 mm cada hora. En este cabezal se coloca el tambor que lleva un fragmento de cinta de Melinex® impregnada de sustancia adhesiva para que las partículas que son succionadas desde el exterior queden adheridas en dicha cinta, que está situada a 0,7 mm del orificio de entrada del aire. Esta distancia es considerada ideal para mantener la eficacia de muestreo del captador y prevenir la posible dispersión y el rebote de las partículas que entran. A la velocidad de giro señalada anteriormente, se puede realizar el muestreo continuo de la atmósfera y obtener datos horarios puesto que la longitud de la cinta se corresponde con 7 días completos.

En el exterior de este cuerpo central existe una **veleta**, para mantener el orificio de entrada en la dirección del viento dominante y una **cubierta**, con el fin de proteger este orificio de entrada del aire de los efectos de la lluvia. De esta manera, la eficacia de captación de las partículas que son aerotransportadas con las corrientes de aire es mayor.

La **bomba de vacío**, situada debajo del cuerpo central, permite la succión de un volumen de aire determinado, regulable a partir de un sistema de ajuste. El caudal de succión ajustado es de 10 litros/minuto. Para que este flujo se mantenga constante es fundamental que el aparato esté totalmente cerrado, ya que sino el valor del flujo puede variar.

El día y la hora del día en la que se ha realizado el cambio del tambor durante el periodo de estudio han sido el lunes y las 9:00 de la mañana, respectivamente. El cambio del tambor ha sido realizado por los Servicios Oficiales Farmacéuticos de la Junta de Castilla y León. El tambor con la cinta impregnada en adhesivo y el tambor con el muestreo, se transportan en un porta-tambor metálico herméticamente cerrado, para eliminar la posibilidad de contaminación durante el transporte. De esta forma, también se minimizan los riesgos de roce con la cinta de Melinex.

3.2. Procesado de las muestras

El material utilizado (Figura 20) y el proceso de preparación de las muestras es el siguiente:

✍ **Regla para el montaje.** Se trata de una regla de metacrilato transparente de más de 1 cm de grosor y con marcas establecidas a modo de hendiduras cada 48 mm. Esto facilita la división de la cinta de Melinex®, que se dispone sobre ella, en fragmentos de 48 mm correspondientes a 24 horas de muestreo continuado de cada uno de los 7 días de la semana.



Figura 20. Material utilizado en la preparación de las muestras aerobiológicas.

✍ **Portaobjetos para microscopio.** Previo a realizar el corte de la cinta de Melinex® en fragmentos, se disponen tantos portaobjetos como fragmentos de 48 mm (correspondientes a 1 día) contenga el total de cinta impactada, hasta un máximo de 7 días. Cada portaobjetos se identifica con una etiqueta adhesiva en la que se anota el nombre de la estación, en este caso Valladolid, y la fecha.

Los fragmentos generados tras la división de la cinta de Melinex se disponen sobre los portaobjetos de tal manera que el inicio de la misma queda a la izquierda y el fin a la derecha. Para identificar ambas posiciones, la etiqueta de identificación se dispone a la izquierda. La lectura de las muestras al microscopio se realizará de izquierda a derecha.

✍ **Montaje de las muestras diarias.** La sustancia empleada en el montaje de las muestras es glicerogelatina teñida con fucsina, que facilita una mejor identificación y recuento de los granos de polen. La glicerogelatina es sólida a temperatura ambiente, siendo necesario licuarla para su utilización. Una vez licuada y con la ayuda de un dispensador de gotas, se dispone una línea continua sobre el cubreobjetos grande (20 x 60 mm), el cual se colocará posteriormente sobre la muestra y el portaobjetos.

3.3. Identificación y recuento de granos de polen

El análisis de las muestras se realizó a microscopía óptica a 40x10 aumentos con un microscopio óptico Leica DMLB, cuyo diámetro medio del campo de visión a 40x10 aumentos es de 0,50 mm.

La Red Europea de Aeroalérgenos (EAN) ha establecido la posibilidad de realizar un sub-muestreo que supone al menos el 10% de representación sobre el total de la muestra. En ese sentido, la Red Española de Aerobiología ha recomendado la lectura de las muestras mediante cuatro barridos longitudinales y equidistantes entre sí y entre los bordes superiores e inferiores de la cinta, ya que de este modo queda representado un 12-13% de la muestra mejorando así la sugerencia de la EAN.

Las concentraciones polínicas se expresan como un valor medio diario por metro cúbico de aire (granos de polen/m³). Para ello se multiplica el número total contabilizado en un día por una constante o factor de corrección, que dependerá de la amplitud de campo del microscopio empleado en la lectura de las muestras y del volumen de succión del aire muestreado. El factor de corrección aplicado en este trabajo ha sido de 0,486.

El cálculo de este factor de corrección se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Factor de corrección} = (A_m/A_a)/V$$

Siendo A_m : área total de la muestra, A_a : área analizada y V : volumen de aire aspirado.

El área total de la muestra (A_m) se calcula multiplicando la longitud diaria de la cinta (l) por la anchura de la misma (L).

$$A_m = l \times L = 48 \text{ mm} \times 14 \text{ mm} = 672 \text{ mm}^2$$

El área analizada (A_a) se corresponde con la longitud de cada barrido (l) por la anchura de cada barrido o amplitud de campo del microscopio (w), multiplicado todo ello por el número total de barridos realizados. Como ya se mencionó anteriormente, se ha utilizado un microscopio óptico cuya amplitud de campo se corresponde con 0,50 mm a 40x10 aumentos.

$$A_a = l \times w \times 4 = 48 \text{ mm} \times 0,50 \text{ mm} \times 4 = 96 \text{ mm}^2$$

Teniendo conocimiento del volumen de aire que incide sobre la cinta en un minuto (10 litros), el volumen de succión total en un día (V) es de:

$$V = 10 \text{ litros/min} \times (24 \text{ horas/día} \times 60 \text{ min/hora}) \times 1/1000 \text{ m}^3/\text{litro} = 14,4 \text{ m}^3$$

Así, sustituyendo las incógnitas de la primera fórmula por lo valores calculados obtenemos el factor de corrección aplicable en este trabajo.

$$\text{Factor de corrección} = (672/96)/14,4 = 0,486$$

4. Análisis de la concentración de alérgenos en el aire

Los periodos de estudio de los alérgenos analizados han sido diferentes para cada uno de ellos puesto que se han determinado en función de los periodos de mayor presencia de cada tipo polínico en la atmósfera, salvo para el año 2009 en el que no fue posible comenzar el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae hasta el 20 de mayo por problemas técnicos (Tabla 6).

	2009	2010	2011
<i>Platanus</i>	10 marzo-18 mayo	18 marzo-4 junio	18 marzo-31 mayo
Poaceae	20 mayo-31 agosto	7 abril-31 agosto	1 abril-24 agosto
Urticaceae	1 abril-28 julio	18 marzo-27 julio	1 abril- 24 agosto

Tabla 6. Periodos de estudio de aeroalérgenos en la atmósfera de Valladolid.

Para cada alérgeno estudiado se determina el periodo alérgico principal (PAP): el periodo en el que la concentración del alérgeno es en torno al 95% del total de alérgeno detectado en cada periodo de estudio.

Las concentraciones de alérgenos se expresan como Índice Alergénico, el cual no tiene unidades y es el sumatorio de las concentraciones medias diarias.

4.1. Muestreo de los alérgenos del polen

Las muestras de aeroalérgenos han sido obtenidas utilizando un captador ciclónico Burkard (Burkard Manufacturing Co Ltd. Hertfordshire, UK), instalado en el mismo lugar en el que se encuentra el captador de polen tipo Hirst. Este aparato está formado por una veleta, que hace que el orificio por donde penetra el aire esté orientado siempre en la dirección del viento y un motor que permite la succión de un volumen de aire de aproximadamente 16,5 l/min; dicho motor está situado en la parte inferior de este captador (Figura 21).

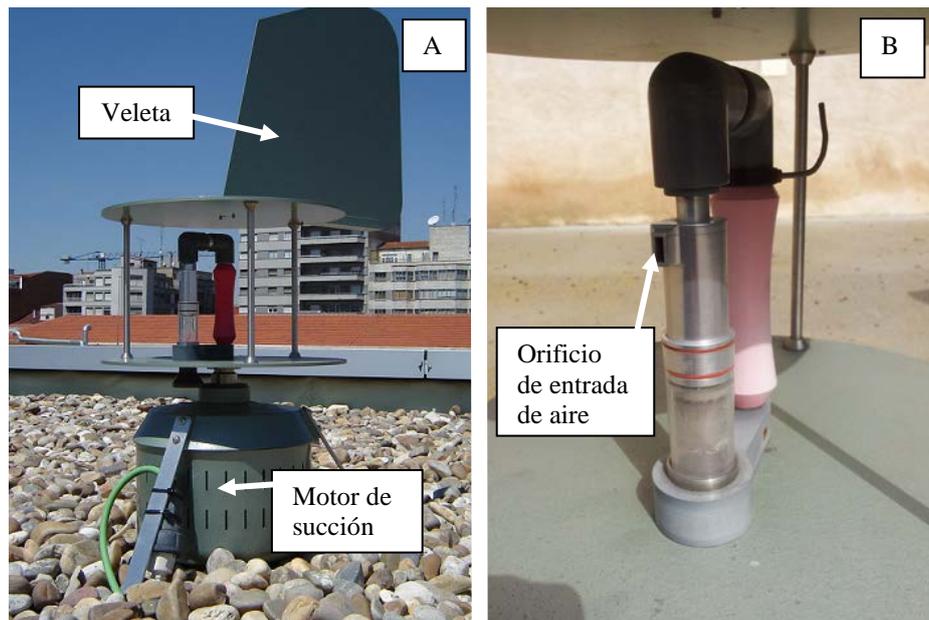


Figura 21. A: captador ciclón (Burkard®) utilizado en el estudio. B: aspecto general de la zona en la que se localiza el tubo eppendorf y el orificio de entrada del aire.

El mecanismo de captación se basa en una corriente ciclónica continua de aire generada por una bomba de succión a través del canal de salida del vórtice en la parte superior de la cámara de captación (Figura 22). La corriente ciclónica conduce el aire en espiral hacia la parte inferior, en donde se encuentra el tubo Eppendorf. Las partículas, dentro de los rangos de eficacia del equipo, abandonarán el flujo del aire, quedando depositadas en el tubo Eppendorf, directamente y en seco (Emberlin, 1999).

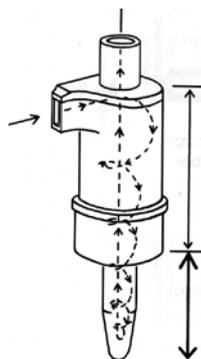


Figura 22. Esquema de funcionamiento del captador Ciclón (Burkard®).

Las muestras se recogieron diariamente a las 9:00 horas en tubos Eppendorf de 1,5 ml etiquetados con la fecha y lugar de muestreo y se almacenaron y transportaron a -18°C hasta el momento en el que se realizó su análisis.

4.2. Extracción de las muestras

La extracción de las muestras se ha realizado en el Laboratorio del Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental de la Facultad de Ciencias Biológicas y Ambientales de la Universidad de León, siguiendo el protocolo de González-Parrado (2010) que supone pequeñas modificaciones del método de Takahashi *et al.* (2001), y que consiste en:

1. Las muestras de los tubos Eppendorf se centrifugan (COBOS MC-15) a 14000 rpm durante un minuto.
2. Se resuspenden en 120 µl de tampón de extracción (50 mM tampón fosfato pH 7,4; 150 mM NaCl; 125 mM bicarbonato amónico; 3 mM EDTA; 0,005% Tween 20). Para la extracción del alérgeno Pla a 1 se utilizó el mismo tampón de extracción pero con una concentración de Tween 20 del 0,05% (Fernández-González *et al.*, 2010).
3. Se mantienen las muestras en agitación durante 2 horas a temperatura ambiente.
4. Se centrifugan a 4000 r.p.m. durante 10 minutos.
5. Se recoge el sobrenadante, con cuidado de no desplazar el sedimento, y se deposita en otro tubo Eppendorf. Ambos, sobrenadante y precipitado se almacenan a -20 °C, identificados adecuadamente.

4.3. Método de ELISA doble sándwich para la cuantificación

La determinación de las concentraciones de Pla a 1 y Par j 1-Par j 2 se ha realizado en el Laboratorio del Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental de la Universidad de León. La determinación de las concentraciones de Lol p 1 y Lol p 5 se ha realizado en Laboratorios Bial (Vizcaya).

El sobrenadante extraído de las muestras se ha analizado mediante la técnica ELISA ("Enzyme Linked Immuno Sorbent Assay") doble Sándwich o DAS ("Double Antibody Sandwich"), denominada de esta manera por quedar el antígeno atrapado entre dos anticuerpos.

Esta técnica ELISA se basa en el uso de anticuerpos o antígenos marcados con una enzima de tal forma que los conjugados resultantes tengan actividad

tanto inmunológica como enzimática. Al estar uno de los dos componentes (el antígeno o el anticuerpo) marcado con la enzima e insolubilizado sobre un soporte, la reacción antígeno-anticuerpo queda inmovilizada. Ésta se podrá observar fácilmente añadiendo un sustrato específico sobre el cuál actuará la enzima dando lugar a la formación de color, que puede ser cuantificado fácilmente con un espectrofotómetro o con un colorímetro. La cantidad de color será proporcional a la cantidad de antígeno.

El protocolo utilizado en este trabajo ha sido el siguiente:

1. Tapizar las placas ELISA (Greiner, Frickenhausen, Germany) añadiendo 100 μ l/pocillo del anticuerpo monoclonal (mAb) correspondiente (BIAL) diluido en PBS ("Fosfate Buffered Solution") e incubar durante toda la noche a temperatura ambiente en cámara húmeda.

Para la determinación de Pla a 1 se ha empleado, como anticuerpo de captura, el clon 5C1 del anticuerpo monoclonal anti-Pla a 1 preparado a una concentración de 2,5 μ g/ml en PBS (Arilla *et al.*, 2005).

Para la determinación de Lol p 1 se han empleado, como anticuerpos de captura, los clones 9F6 y 7A8 del anticuerpo policlonal anti-Lol p 1, y para la determinación de Lol p 5 los clones 10B1 y 10C12 del anticuerpo monoclonal anti-Lol p 5, preparados cada uno en 2,5 μ g/ml de PBS (Arilla *et al.*, 2001).

Para la determinación de Par j 1-Par j 2 se ha empleado, como anticuerpo de captura, el clon 5D4 del anticuerpo monoclonal anti-Par j 1-Par j 2 preparado a una concentración de 2,5 μ g/ml en PBS (Arilla *et al.*, 2006).

2. Vaciar el contenido de las placas y añadir 200 μ l/pocillo de tampón PBS-BSA ("Bovine Serum Albumine") -T ("Tween") (PBS + BSA al 1% + Tween 20 al 0,05%), e incubar durante 1 hora a 37°C.

3. Vaciar el contenido de las placas y añadir 100 μ l/pocillo de las distintas cantidades de la recta patrón y de los extractos problema diluidos con tampón PBS-BSA-T e incubar durante 1 hora a 37°C. La recta patrón se obtiene a partir de una concentración conocida del alérgeno natural calibrado (BIAL) (Arilla *et al.*, 2005), de la que hacemos diluciones sucesivas para obtener diferentes concentraciones o rangos (Tabla 7).

Alérgenos	Rangos de la recta patrón									
Pla a 1	100	50	25	12,5	6,25	3,125	1,5	0,8	0,4	0,2
Lol p 1	100	50	25	12,5	6,25	3,125	1,5	0,8	0,4	0,2
Lol p 5	100	50	25	12,5	6,25	3,125	1,5	0,8	0,4	0,2
Par j 1-Par j 2	200	100	80	60	50	40	20	10	5	

Tabla 7. Valores de las concentraciones de los alérgenos en las rectas patrón (ng/ml en PBS-BSA-T).

Cada placa ELISA se completan, como control, con 3 o 4 pocillos blanco en los que se añade 100 μl / pocillo de tampón PBS-BSA-T.

Se utilizan distintas cantidades de extracto problema diluidos en la cantidad correspondiente de PBS-BSA-T para completar 100 μl / pocillo, en función de la cantidad de polen de cada día y de las necesidades de muestra requeridas para la determinación de otros alérgenos. Por ejemplo los días en que los recuentos de polen de *Platanus* son mayores de 100 granos/ m^3 empleamos 10 μl de muestra; el resto de los días se emplea 20, 30 o 60 μl .

4. Vaciar el contenido de las placas y lavar tres veces con 200 μl / pocillo de tampón PBS-T (Tween 20 al 0,05%).

5. Añadir 100 μl / pocillo del anticuerpo monoclonal o policlonal, según corresponda, marcado con biotina diluido con tampón PBS-BSA-T e incubar durante 1 hora a 37°C.

6. Vaciar el contenido de las placas y lavar tres veces con 200 μl / pocillo de tampón PBS-T.

7. Añadir 100 μl / pocillo de estreptavidina conjugada a peroxidasa (250 ng/ml en PBS-BSA-T) (SIGMA, S-5512), e incubar durante 1 hora a 37°C.

8. Vaciar el contenido de las placas y lavar tres veces con 200 μl / pocillo de tampón PBS-T.

9. Añadir 200 μl / pocillo de una solución de *o*-fenilendiamina ("Sigma-Fast™" *o*-phenylenediamine dihydrochloride tablet sets; Sigma P-9187) y mantener las placas a temperatura ambiente y en oscuridad durante 30 minutos. Se produce una reacción en la que se forma un color amarillo más o menos intenso (Figura 23).

10. Detener la reacción añadiendo 50 μl / pocillo de H_2SO_4 3M.

11. Medir de la absorbancia a 492 nm con un lector de placas. En este trabajo se ha utilizado un equipo ELISA BIO-TEK Synergy HT (Figura 24), con el programa GEN S 1.9 del propio equipo.

12. Por último, se representan los valores de la absorbancia de los puntos de la recta patrón frente al logaritmo de las concentraciones (ng/ml) y se interpolan los datos obtenidos en las muestras objeto de estudio en la parte lineal de la curva estándar, así se conocerán las concentraciones de proteína de las muestras analizadas, utilizando el programa GRAPH PAD PRISMA.

La concentración del alérgeno en el aire se expresa en pg/m^3 . Para el cálculo final se ha tenido en cuenta el volumen de aire succionado (16 l/min x 60 minutos x 24 horas = 23040 litros o 23,04 m^3 al día) y el volumen empleado para hacer la extracción (120 μl). Así pues, teniendo en cuenta lo anterior, el factor de conversión empleado es de 0,0052 ng/ m^3 .



Figura 23. Lector de placas ELISA BIO-TEK Synergy HT y placa coloreada.

5. Análisis estadístico de los datos

Los datos obtenidos en los distintos análisis llevados a cabo se han introducido en hojas de cálculo de Microsoft Office Excel 2010. Se calcularon sumas, máximos, mínimos, promedios, etc. y se elaboraron gráficos para una mejor interpretación de los resultados.

Para realizar los análisis estadísticos se ha utilizado el programa informático SPSS Statistics 14.0 de Windows.

Se han estudiado las correlaciones existentes entre las variables meteorológicas y las concentraciones de contaminantes con las concentraciones de cada tipo polínico y los distintos alérgenos. Como todas estas variables no presentan una distribución gaussiana normal se ha utilizado el Test de correlación no paramétrico de Spearman. Este coeficiente de correlación lineal (r) tiene un valor comprendido entre -1 y 1.

En el caso de la concentración del polen se ha aplicado el test de Spearman durante el año completo y durante el PPP, así como durante el conjunto de los tres años de estudio. Para los alérgenos se ha aplicado este test en el periodo de estudio de cada alérgeno y en los PAP y en el conjunto de los tres años.

En este trabajo se ha calculado el grado de significación para los intervalos de confianza del 95% y del 99%, que representan un valor de probabilidad (P) de $P \leq 0'05$ y $P \leq 0'01$ respectivamente.

Los coeficientes de correlación obtenidos se han representado en forma de tabla para una mejor comprensión de los resultados.

IV. Resultados

1. Análisis de los parámetros meteorológicos

1.1. Temperaturas

La temperatura más elevada del periodo de estudio fue de 38,2°C y se registró el día 26 de junio de 2011 (Tabla 8) y la más baja fue de -9,6°C el día 12 de enero de 2009 (Tabla 9).

La distribución de las temperaturas máximas y mínimas de cada año se puede apreciar en la figura 24. Las temperaturas máximas y mínimas más bajas se observan durante los meses de invierno y las más elevadas durante los meses de verano, superando las máximas los 30°C.

En el año 2009 se produjeron heladas durante los meses de enero, febrero, marzo, abril, noviembre y diciembre. En 2010 las heladas finalizaron antes, al principio de la primavera pero también comenzaron más temprano en el otoño, en el mes de octubre. En el año 2011 se registraron en Valladolid temperaturas por debajo de 0°C durante los meses de enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre (Figura 24).

El promedio de temperatura máxima en cada uno de los tres años de estudio fue bastante similar, con una media para el periodo analizado de 19,3°C (Tabla 8).

Temperatura Máxima	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	37,0	16 de agosto	-2,0	11 de enero	19,7	9
2010	37,6	8 de julio	0,8	10 de enero	18,4	9
2011	38,2	26 de junio	3,1	23 de diciembre	19,9	9

Tabla 8. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura máxima (°C).

La temperatura mínima registró un promedio de 7,3°C, no observándose diferencias importantes durante los tres años de estudio tal y como se aprecia en la tabla 9.

Temperatura Mínima	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	19,8	15-17 de agosto	-9,6	12 enero	7,3	6
2010	21,0	22 de agosto	-7,8	4 diciembre	6,8	6
2011	21,4	7 de junio	-5,2	26 enero	7,7	6

Tabla 9. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura mínima (°C).

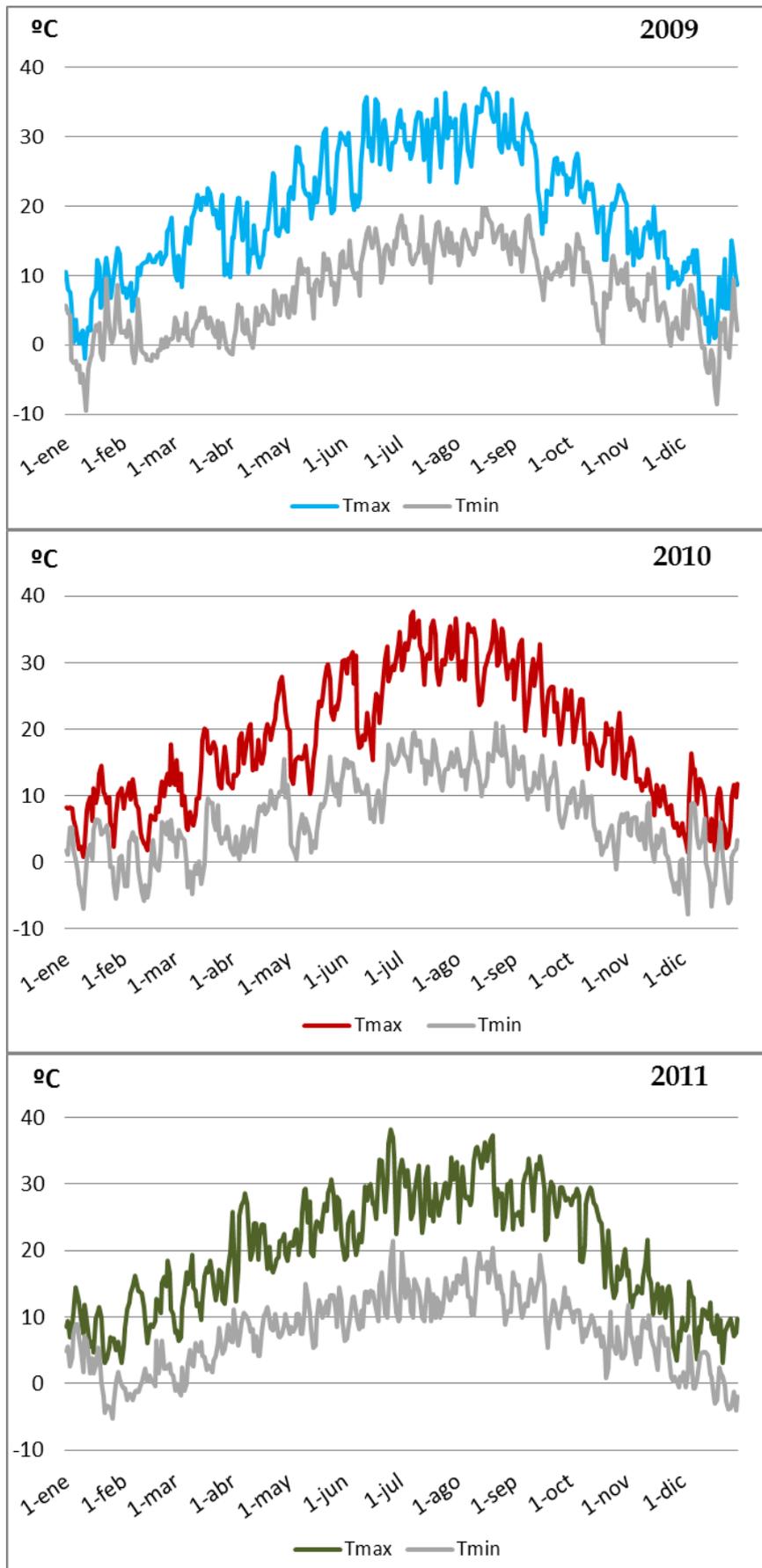


Figura 24. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas diarias durante 2009, 2010 y 2011.

El promedio de la temperatura media fue inferior en 2010 que en 2009 y 2011, en torno a 1°C de diferencia (Tabla 10).

Temperatura Media	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	27,9	15-17 de agosto	-4,8	11 de enero	13,5	7
2010	28,5	8 de julio	-3,2	4 de diciembre	12,6	8
2011	29,2	27 de junio	-0,6	22 de enero	13,8	7

Tabla 10. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura media (°C).

Las temperaturas medias tuvieron una distribución similar durante los tres años del periodo de estudio (Figura 25). En cada año, el mes con temperatura media más elevada fue agosto en 2009 (23,6°C), julio en 2010 (23,9°C) y agosto en 2011 (22,8°C), sin embargo, el día con temperatura media más alta fue el 27 de junio en 2011. El mes con temperatura media más baja fue enero de 2009 (3,6°C), diciembre en 2010 (4,2°C) y diciembre en 2011 (4,8°C), aunque el día con la temperatura media más baja se registrara el 22 de enero de 2011. (Tabla 10).

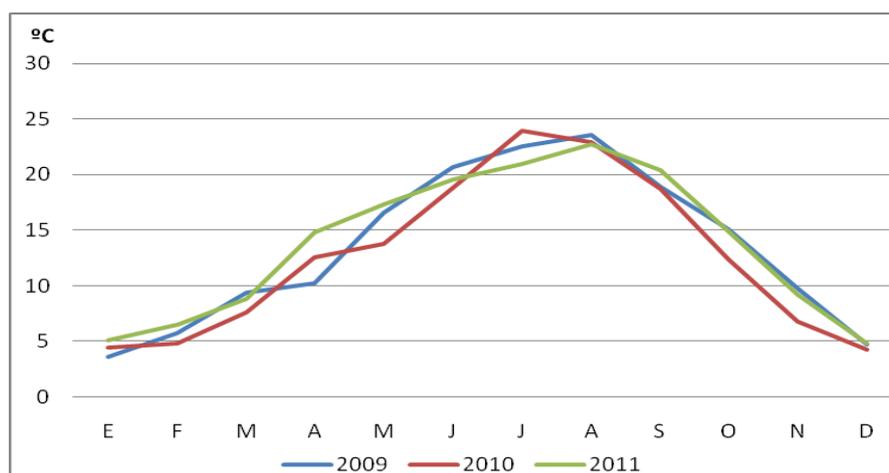


Figura 25. Distribución de los promedios mensuales de las temperaturas medias durante los tres años de estudio.

Los datos de temperaturas registrados con el termómetro húmedo tuvieron los máximos y mínimos indicados en la tabla 11. Durante el periodo de estudio la temperatura húmeda promedio fue de 9,4°C. Del mismo modo que para las temperaturas analizadas anteriormente, la temperatura húmeda presentó un promedio inferior en 2010, de medio grado respecto a 2009 y de casi un grado respecto a 2011.

Temperatura Húmeda	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	18,9	17 de agosto	-5,1	12 de enero	9,4	5
2010	20,1	9 de julio	-3,7	10 de enero	8,9	6
2011	18,8	16 de agosto	-2,6	22 de enero	9,8	5

Tabla 11. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura húmeda (°C).

Durante el periodo de estudio la temperatura de punto de rocío promedio fue de 5,7°C. Al igual que los parámetros de temperaturas anteriores, el promedio de la temperatura de punto de rocío más elevado se observó en 2011, medio grado superior a 2010 y 2009 (Tabla 12).

Temperatura de Punto de Rocío	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	14,8	17 de junio	-7,7	16 de octubre	5,3	5
2010	16,1	9 de julio	-6,9	26 de diciembre	5,6	5
2011	15,2	2 de agosto	-6,0	22-24 de enero	6,1	4

Tabla 12. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura de punto de rocío (°C).

Las desviaciones estandar de las temperaturas son altas por la variabilidad de las mismas, lo cual es propio de un clima continental. Se observan menores oscilaciones de las temperaturas en los meses invernales.

1.2. Humedad relativa

Durante el periodo de estudio la humedad relativa tuvo un promedio de 65,9%, siendo similares los promedios de cada año.

Los días con una humedad relativa del 100% fueron varios (11 de diciembre de 2009, 27 y 28 de noviembre y 9 de diciembre de 2011), coincidiendo en general con días de abundante niebla, frecuentes en los inviernos de esta región. El día con menor humedad relativa fue el 26 de agosto de 2010 con un 28,3%.

La humedad relativa fue generalmente más elevada en los meses invernales. Asimismo se observa que el promedio de la humedad relativa más bajo fue durante los meses de verano (Figura 26).

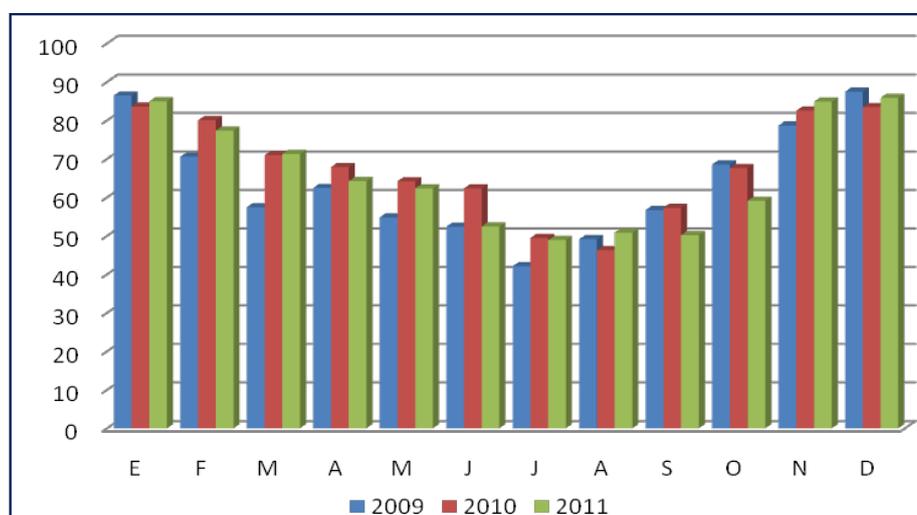


Figura 26. Distribución de los promedios mensuales de la humedad relativa (%) durante los 3 años de estudio.

1.3. Precipitaciones

Las precipitaciones anuales durante los años de estudio fueron de 336,7 mm en 2009, 530 mm en 2010 y 324,9 mm en 2011.

Los meses más lluviosos han sido diciembre, en 2009 (109,1 mm) y en 2010 (105,3 mm), y noviembre en 2011 (66,6 mm) y los menos lluviosos fueron julio en 2009 (1,3 mm) y agosto y septiembre en 2010 y 2011 respectivamente, en los cuales no hubo precipitaciones (Figura 27).

Además, las precipitaciones de final del invierno y el principio de la primavera fueron más abundantes en 2010 que en 2011 y en 2009 (Figura 27).

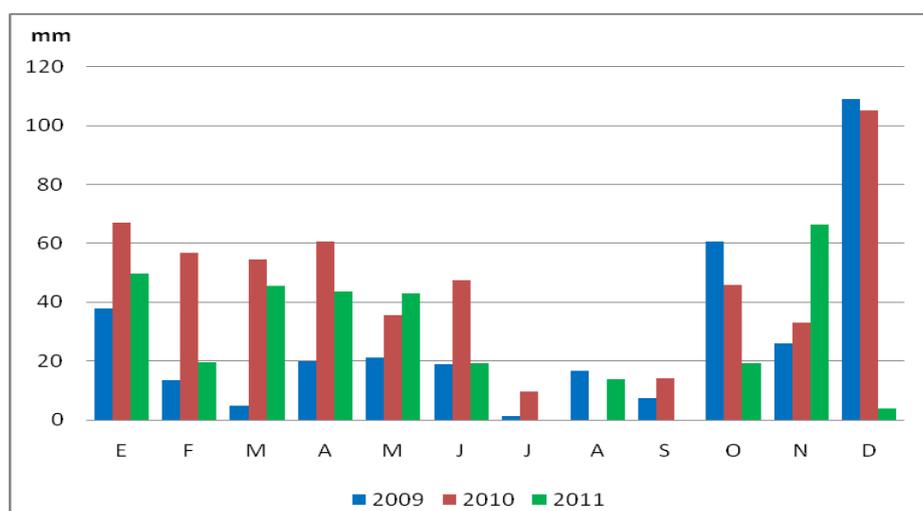


Figura 27. Distribución mensual de las precipitaciones en el periodo de estudio.

Se han registrado un total de 372 días de lluvia en el periodo de estudio, con 126, 133 y 113 días de lluvia, en 2009, 2010 y 2011 respectivamente, distribuidas por meses como se indica en la figura 28. Es decir, en Valladolid se registran precipitaciones durante aproximadamente el 34% de los días del año.

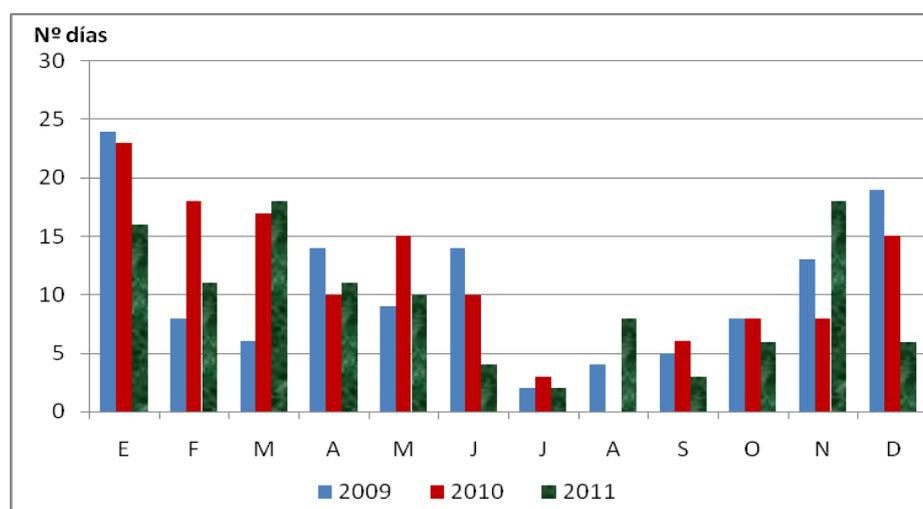


Figura 28. Número de días de lluvia en cada mes de 2009, 2010 y 2011.

Es de destacar un mayor número de días de lluvia (casi el triple) en marzo de 2010 y de 2011, que en marzo de 2009. Los días más lluviosos de cada año fueron el 22 de octubre de 2009 con 28 mm, el 9 de junio de 2010 con 19,2 mm y el 18 de mayo de 2011 con 23,7 mm.

1.4. Evaporación

Independientemente de los datos no disponibles por problemas técnicos, se observa menor evaporación en los meses de invierno y otoño y mayor evaporación en los meses de primavera y verano (Figura 29).

El promedio de evaporación diaria del periodo de estudio fue de 2,9 mm. El día de mayor evaporación de cada año fue el 1 de abril de 2009 (11,3 mm), el 7 de julio de 2010 (11,4 mm) y el 15 de septiembre de 2011 (8,6 mm).

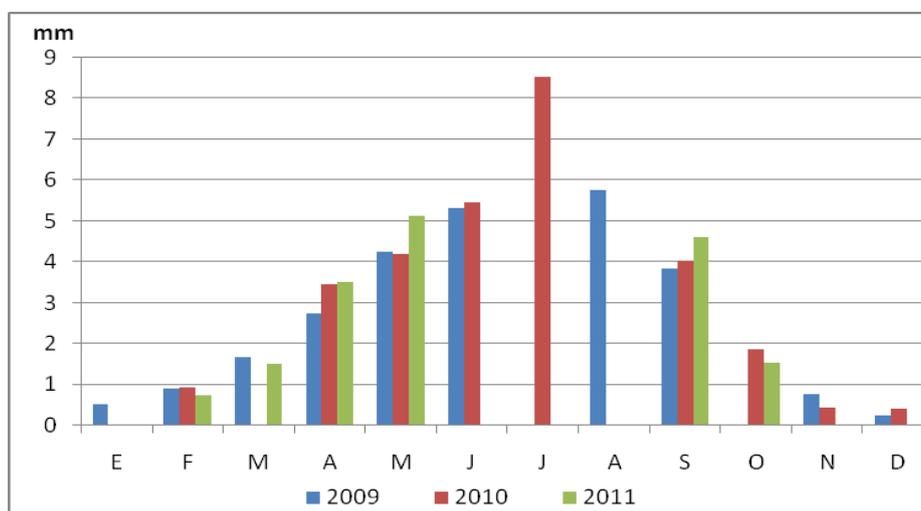


Figura 29. Distribución de los promedios mensuales de la evaporación durante los 3 años de estudio.

1.5. Insolación

La insolación total diaria tuvo una distribución similar en los distintos años del estudio. El promedio de insolación diaria fue de 7,6 horas. El mes con mayor número de horas de sol fue julio, superando las 12 horas diarias y el mes de menor insolación fue enero con tres o menos horas de sol diarias de promedio (Figura 30).

El día de mayor insolación fue el 23 de junio de 2010 con 14,4 horas. Como corresponde a la latitud de Valladolid la estación del año con más horas de sol es el verano seguida de la primavera y el otoño, siendo los meses de invierno los de menor insolación.

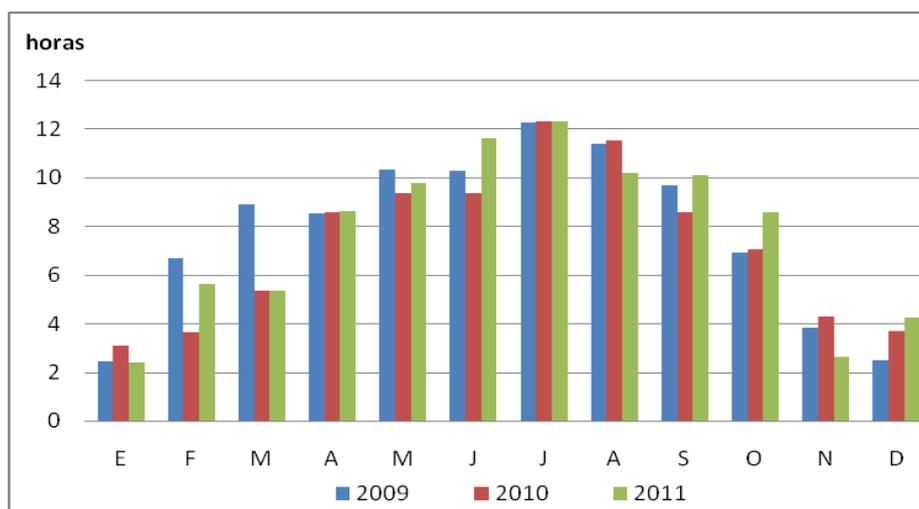


Figura 30. Distribución de los promedios mensuales de insolación total diaria durante los 3 años de estudio.

1.6. Viento

La velocidad media del viento en Valladolid durante estos tres años ha sido de 8,9 km/hora.

La velocidad promedio fue menor en 2011 (7,4 km/hora), que en los otros dos años (Tabla 13), debido a la baja velocidad del viento del último trimestre de este año (4,5, 5,3 y 6,3 km/hora en octubre, noviembre y diciembre respectivamente), muy inferior a la media del periodo.

Velocidad del viento	Máx	Fecha	Media	S
2009	29,7	24 de enero	9,8	4
2010	31,8	9 de noviembre	9,4	4
2011	21,5	22 de febrero	7,4	4

Tabla 13. Valores máximos (Máx) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la velocidad del viento (km/hora).

El mes con mayor velocidad del viento fue noviembre de 2009 (12,1 km/hora de media). El viento también sopló con fuerza, por encima de 10 km/hora, en enero, abril y julio de 2009 y en enero, febrero, marzo y noviembre de 2010 (Figura 31).

Los periodos de calma son escasos en Valladolid, suponiendo menos del 1% en 2009 y 2010 y un 2% en 2011.

En relación con la frecuencia de la dirección del viento, hay que señalar que la más frecuente fue la procedente del cuadrante nororiental como se puede apreciar en la figura 32.

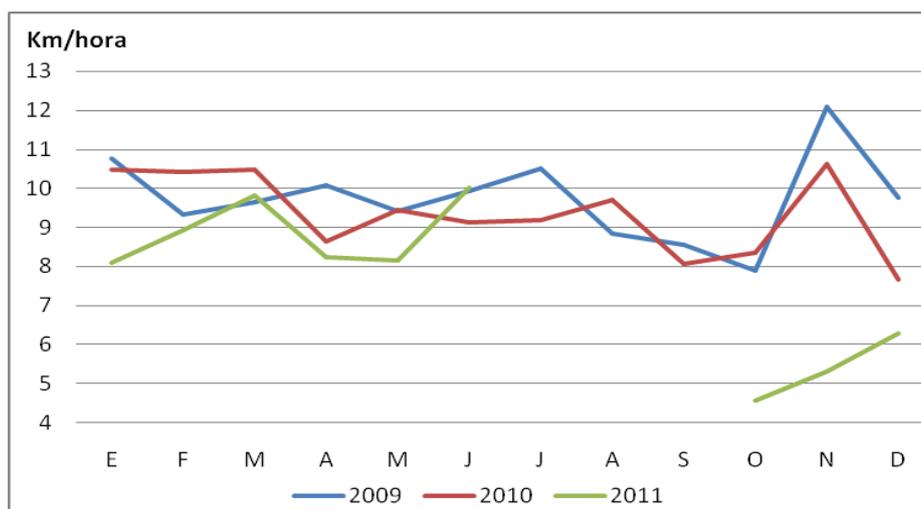


Figura 31. Distribución de los promedios mensuales de la velocidad del viento durante los tres años de estudio.

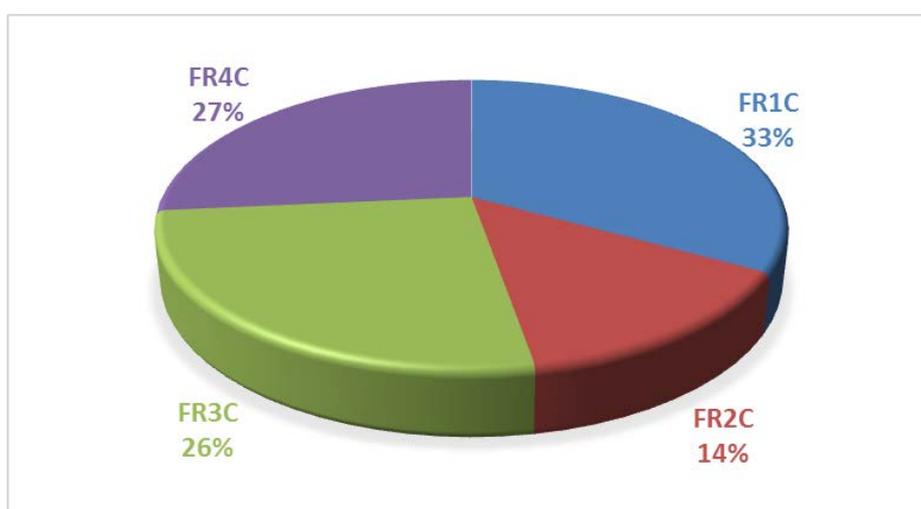


Figura 32. Frecuencia de la dirección media del viento por cuadrantes en el periodo de estudio.

En la figura 33 se observa que, durante el año 2009, el viento procedente del primer cuadrante fue predominante sobre las otras procedencias en febrero (40%), marzo (50%), mayo (35%) y septiembre (60%). En noviembre, diciembre y enero el viento sopló sobre todo del tercer cuadrante, representando en noviembre casi el 60% del tiempo. El viento procedente del cuarto cuadrante fue importante en abril, mayo, junio y julio y además, el viento procedente de este cuarto cuadrante supuso el 30% o algo más de la frecuencia durante los meses de febrero a agosto. También se observa que durante los meses de abril a julio el viento sopló por igual desde los cuadrantes primero, tercero y cuarto.

En el año 2010 el viento procedente del primer cuadrante fue el predominante de abril a octubre y en diciembre; suponiendo casi el 50% del tiempo en junio, julio y agosto, si bien en mayo el viento originario del cuarto cuadrante tuvo la misma frecuencia que el procedente del primer cuadrante. El viento procedente del tercer cuadrante predominó en noviembre, enero, febrero y marzo. La dirección del viento del cuarto cuadrante fue predominante en

abril, mayo y junio, con una frecuencia casi igual a la del viento procedente del primer cuadrante en el mes de mayo (Figura 33).

En la primavera de 2011 predominó el viento procedente del primer cuadrante, sobre todo en el mes de abril donde supuso casi el 50% de la frecuencia y en invierno, prevalecieron los del primer y tercer cuadrante. Faltan los datos de los meses de mayo a octubre.

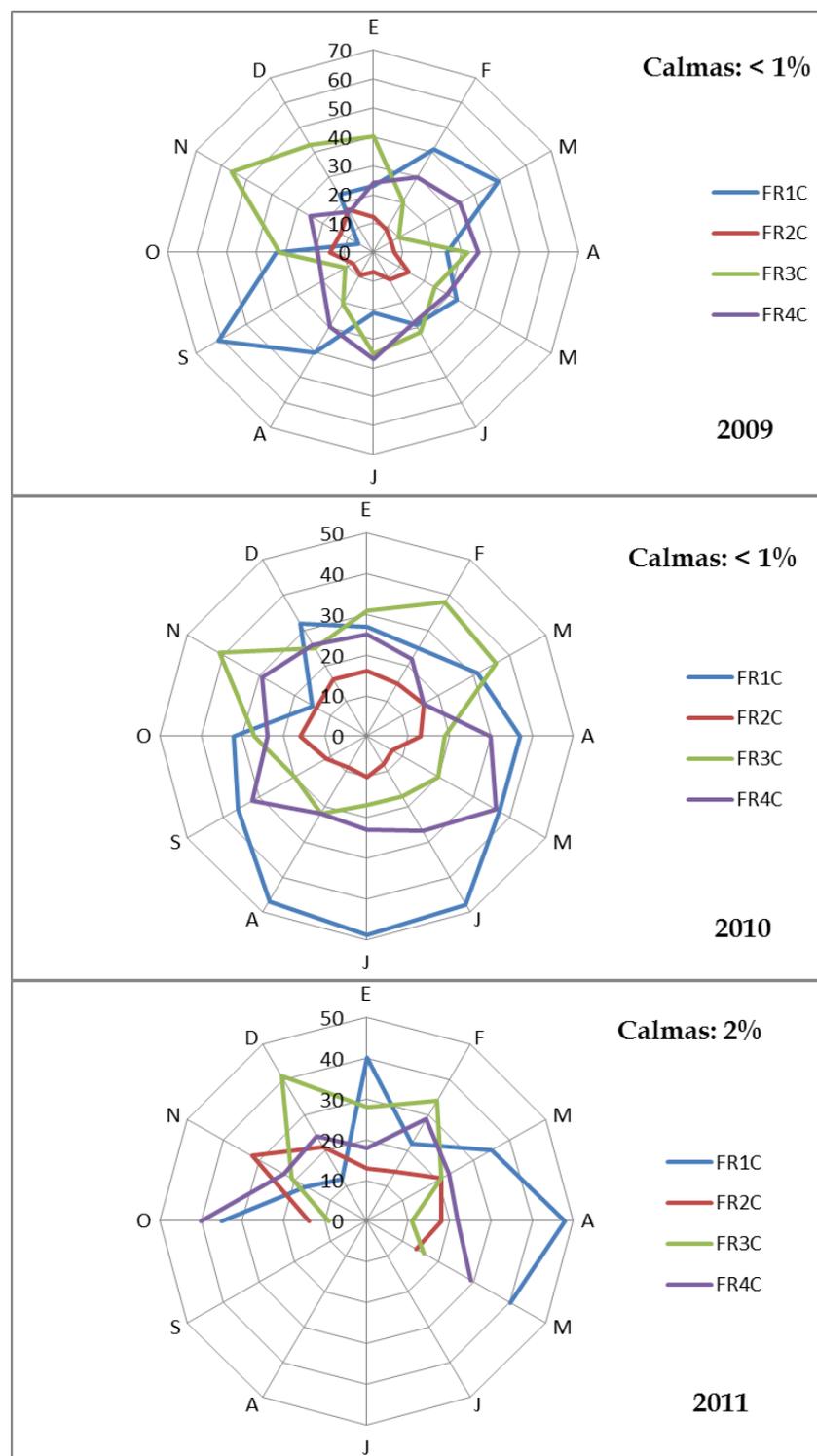


Figura 33. Frecuencias mensuales de la dirección del viento (%) durante 2009, 2010 y 2011.

1.7. Radiación

Durante el periodo de estudio las radiaciones máximas y mínimas recibidas se muestran en la tabla 14 y el promedio fue de 16,3 MJ/m².

Radiación global diaria	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	32,5	21 junio	1,6	3 enero	16,9	9
2010	31,7	23 junio	0,9	3 enero	15,7	9
2011	31,1	24 junio	1,2	4 enero	16,2	9

Tabla 14. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la radiación global diaria (MJ/m²).

El mes de julio fue en el que más radiación se recibió, siendo diciembre y enero los meses con menor radiación recibida (Figura 34).

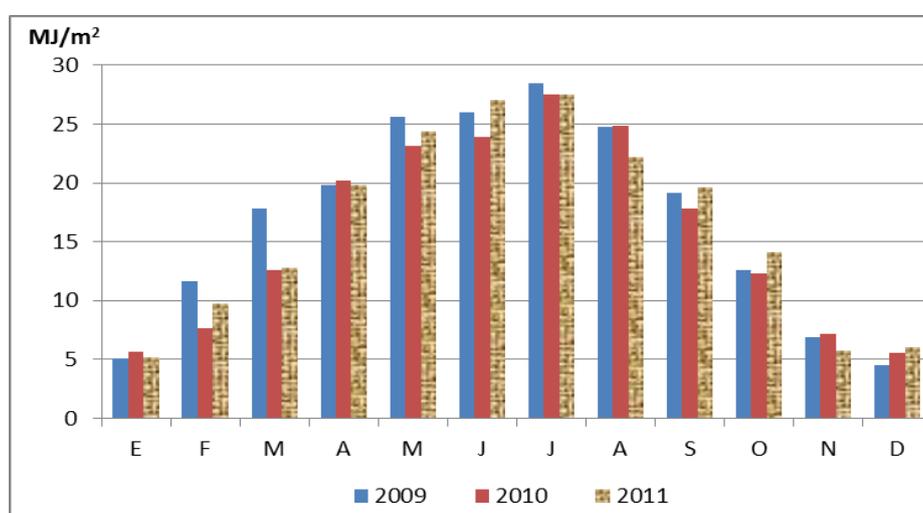


Figura 34. Distribución de los promedios mensuales de la radiación durante 2009, 2010 y 2011.

2. Análisis de los contaminantes atmosféricos

2.1. Material particulado atmosférico

La concentración promedio anual de material particulado PM10 fue de 19,5 µg/m³. Se observa un promedio inferior en el año 2010 con respecto a los otros dos años (Tabla 15).

PM10	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	61	27-28 de febrero	5	23 de enero, 29 de noviembre y 31 de diciembre	20,2	11
2010	69	9 de agosto	5	31 de octubre	18,8	10
2011	66	8 de abril	5	22 de abril y 5-6 de noviembre	19,6	10

Tabla 15. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de material particulado PM10 (µg/m³).

La distribución de las concentraciones promedio mensuales de PM10 de los tres años de estudio se muestra en la figura 35. En ella, llama la atención que las cantidades fueron más bajas en abril, mayo y junio de 2010, que en los mismos meses de 2009 y 2011, que las concentraciones fueran más altas las de marzo de 2009 y 2010 que las de marzo de 2011 y también que las de julio y agosto de 2010 fueran mayores que las de los mismos meses de 2009 y 2011.

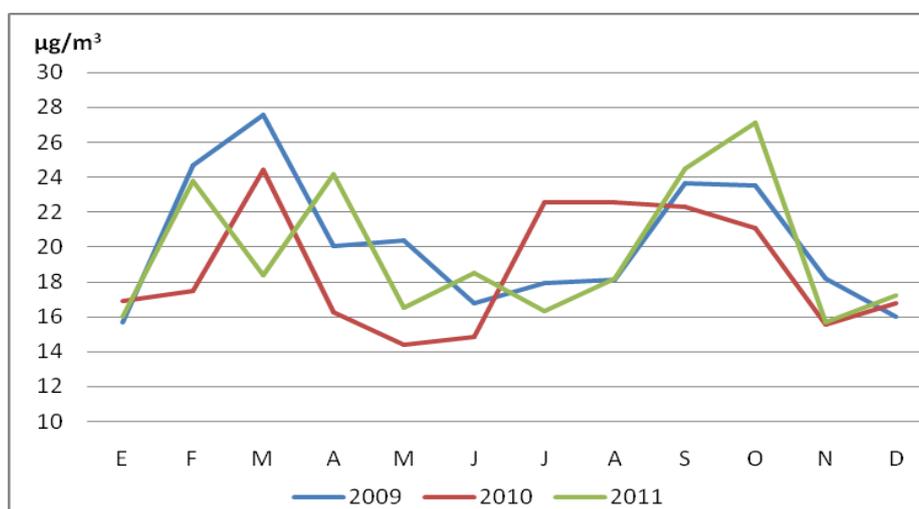


Figura 35. Distribución de las concentraciones promedio mensuales de PM10.

La concentración promedio anual de material particulado PM2,5 observado para el periodo de estudio, fue de 13 µg/m³ (Tabla 16).

PM2,5	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	39	3 de abril	2	5-29 de noviembre	12	6,5
2010	38	27 de octubre	5	Varios días	12	6,1
2011	50	5 de febrero	4	Varios días	15	7,5

Tabla 16. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de material particulado PM2,5 (µg/m³).

La figura 36 muestra la distribución de las concentraciones promedio mensuales de PM2,5 de los tres años de estudio; en esta figura podemos observar que dichas concentraciones son mayores en otoño e invierno y menores en primavera y verano.

En cuanto a la ratio PM2,5/PM10, el promedio más elevado, 0,78, correspondió al año 2011, debido a las mayores concentraciones de PM2,5 en este año, es decir, en este año son mayoritarias las partículas finas. Los promedios de dicha ratio en 2009 y 2010 fueron de 0,59 y 0,66 respectivamente, lo que indica una presencia notable de partículas gruesas, generadas por la acción mecánica del viento, casi constante en la llanura mesetaria dónde se encuentra Valladolid. Recordemos que en 2011 el viento sopló con una velocidad promedio inferior que en los otros dos años y tuvo más periodos de calma.

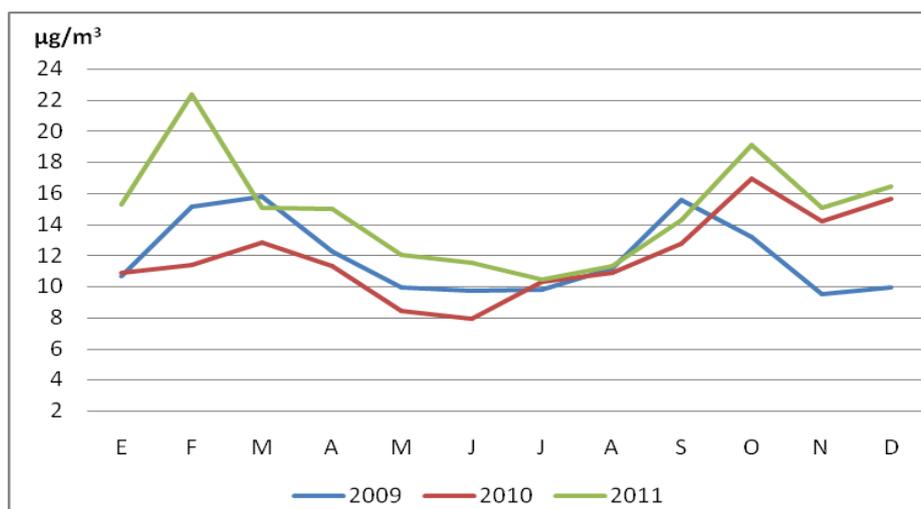


Figura 36. Distribución de las concentraciones promedio mensuales de PM2,5.

2.2. Monóxido de nitrógeno

Las concentraciones medias anuales de monóxido de nitrógeno (NO) han sido similares en cada año del estudio (Tabla 17). La concentración promedio anual de NO para el periodo de estudio fue de 22 µg/m³.

Monóxido de nitrógeno	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	121	28 de octubre	1	4-5 de marzo	21,7	16,7
2010	144	27 de octubre	3	20 de junio y 22 de agosto	22,4	20,1
2011	118	27 de diciembre	1	Varios días	22,0	23,2

Tabla 17. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de monóxido de nitrógeno (µg/m³).

La distribución de los promedios mensuales de NO se puede observar en la figura 37, en la cual destacan las cantidades medias más elevadas registradas en el mes de febrero de 2011 y en el último trimestre de los tres años.

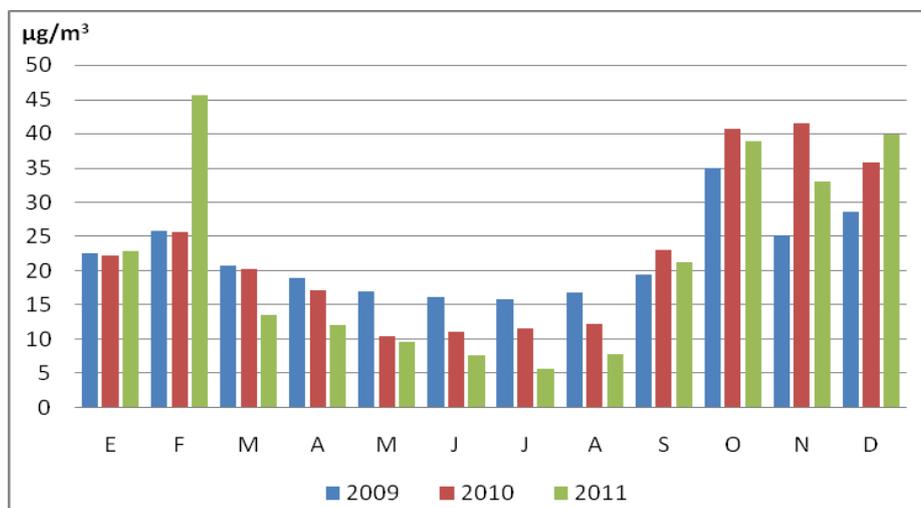


Figura 37. Distribución de los promedios mensuales de NO durante el periodo de estudio.

2.3. Dióxido de nitrógeno

Los promedios anuales de dióxido de nitrógeno (NO₂) aunque fueron similares en los tres años, resultaron ligeramente superiores en 2009. El promedio anual de NO₂ fue de 31,2 µg/m³. El registro más bajo se dio el 15 de agosto y 3 de octubre de 2010, y el más alto el 27 de octubre de 2010 (Tabla 18).

Dióxido de nitrógeno	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	81	29 de octubre	8	17 de mayo	32,9	13,4
2010	94	27 de octubre	2	15 de agosto y 3 de octubre	30,3	15,8
2011	87	11 de octubre	4	15 de mayo	30,3	15,7

Tabla 18. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de dióxido de nitrógeno (µg/m³).

En la distribución de los promedios mensuales de NO₂ destaca el mes de octubre de los tres años y el de septiembre de 2011. Los meses con menores concentraciones fueron, en general, mayo, junio y julio (Figura 38).

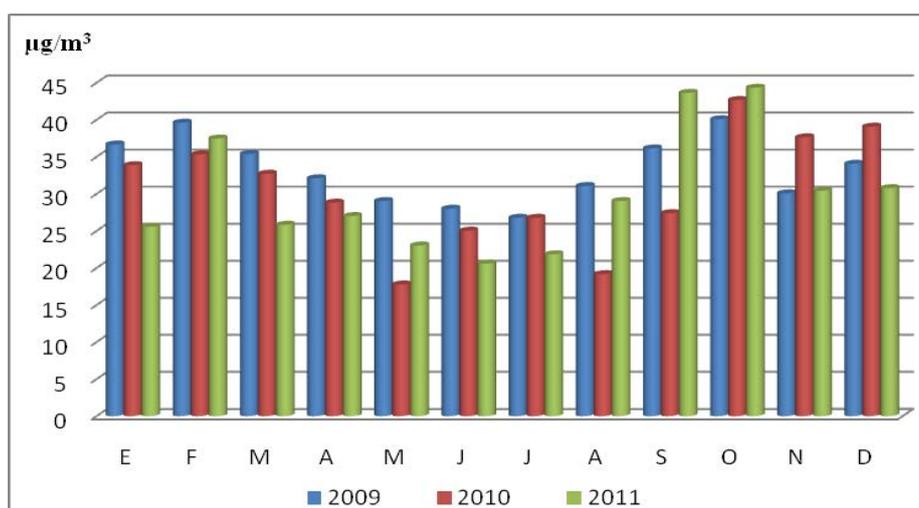


Figura 38. Distribución de los promedios mensuales de NO₂ durante el periodo de estudio.

2.4. Monóxido de Carbono

La concentración promedio anual de monóxido de carbono (CO) no ha experimentado variación a lo largo de los tres años (Tabla 19). La distribución de los promedios mensuales de CO se puede observar en la figura 39, donde destaca el valor más elevado del mes de agosto de 2011.

Monóxido de carbono	Máx	Fecha	Mín	Media	S
2009	1,9	20 de marzo	0,1 en 130 días	0,2	0,16
2010	5,2	25 de septiembre	0,1 en 223 días	0,2	0,36
2011	5,3	27 de agosto	0,1 en 278 días	0,2	0,35

Tabla 19. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de monóxido de carbono (mg/m³).

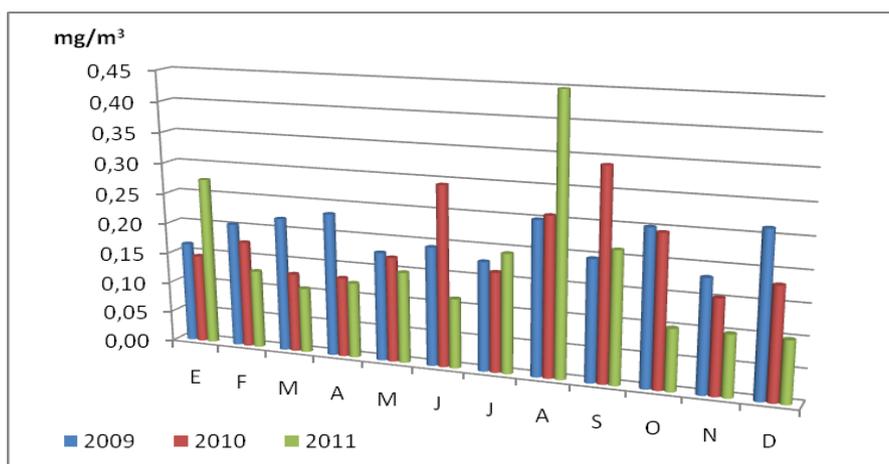


Figura 39. Distribución de los promedios mensuales de CO durante el periodo de estudio.

2.5. Dióxido de azufre

La concentración promedio diaria de dióxido de azufre (SO_2) para el periodo de estudio fue de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones promedio diarias fueron muy superiores en el año 2011 (Tabla 20).

Dióxido de azufre	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	8	6 días en febrero	1	Varios días	2,1	1,7
2010	10	29 de enero	1	Varios días	2,5	1,5
2011	13	8 días en abril	1	Varios días	4,5	3,2

Tabla 20. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de dióxido de azufre ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En la distribución de los promedios mensuales de SO_2 se observa que los meses de abril, junio y julio de 2011 superaron los $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 40). En 2009, el valor máximo de SO_2 fue $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 6 días de febrero. En 2010, este valor fue $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el 29 de enero y en 2011 fue $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en 8 días de abril. El valor mínimo fue $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante varios días de los tres años.

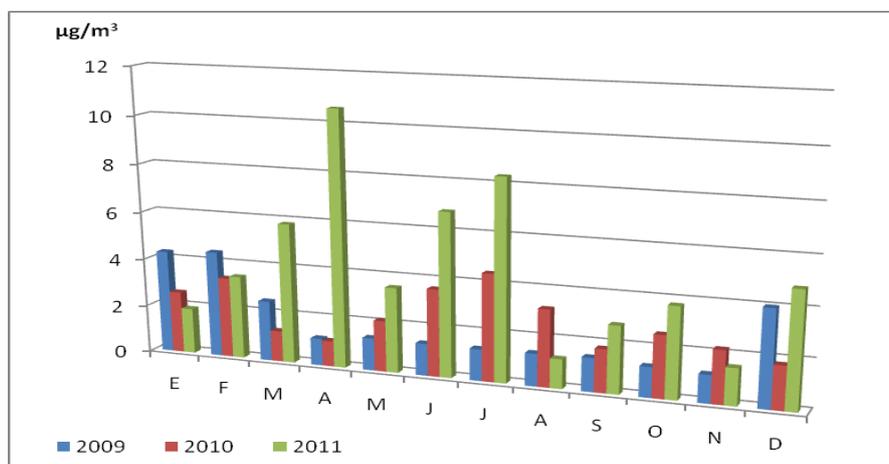


Figura 40. Distribución de los promedios mensuales de SO_2 durante el periodo de estudio.

2.6. Ozono

La concentración media anual de ozono (O_3) durante el periodo de estudio ha sido de $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no observando grandes variaciones en los valores medios anuales de los tres años de estudio tal y como se refleja en la tabla 21. Los valores de concentración máxima de este contaminante en la atmósfera de la ciudad de Valladolid se registraron en los meses de junio y julio, generalmente, mientras que los valores más bajos se detectaron en el mes de noviembre en los tres años.

Ozono	Máx	Fecha	Mín	Fecha	Media	S
2009	91	1 de junio	5	18 de noviembre	48,3	18,2
2010	106	9 de julio	5	5 de noviembre	50,9	20,1
2011	99	27 de abril y 30 de julio	1	28 de noviembre	47,3	20,1

Tabla 21. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La evolución de las concentraciones medias mensuales de ozono ha sido semejante en los tres años de estudio, siendo los meses de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre cuando se registraron concentraciones medias más altas de este contaminante. Estas concentraciones superan el valor de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en muchas ocasiones tal y como se puede observar en la gráfica de la figura 41.

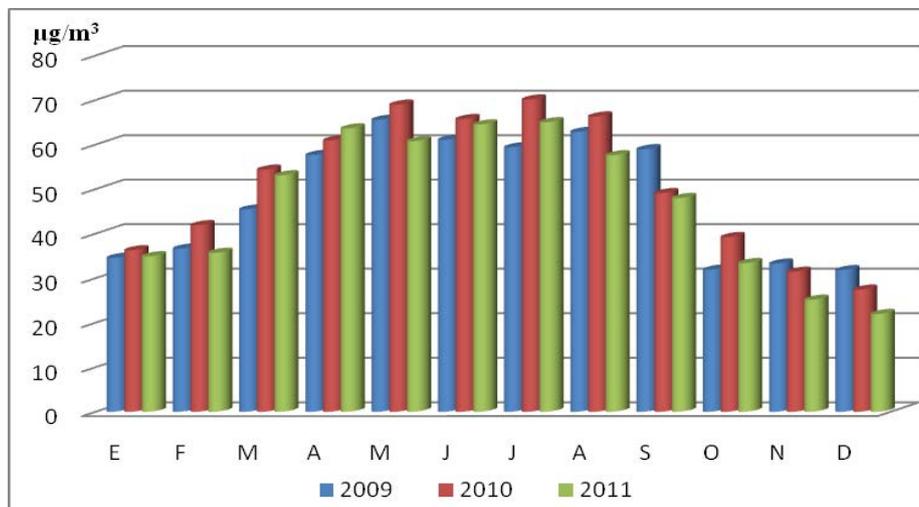


Figura 41. Distribución de los promedios mensuales de O_3 durante el periodo de estudio.

2.7. Benceno

El benceno (C_6H_6) tiene un límite de detección de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En estos tres años de estudio solamente se ha registrado por encima de ese límite durante 16 días, los cuales se distribuyen de la siguiente manera: 14 días de 2009, (enero, febrero y marzo) y 2 días de septiembre de 2011.

3. Análisis general del polen

El índice polínico del polen total en la ciudad de Valladolid durante el periodo de estudio ha alcanzado la cifra de 56736, con un promedio anual de 18912. En la figura 42 se representan los índices polínicos anuales; en ella se observa mayor cantidad de polen total en 2011 (22121) que en 2009 (19806) y que en 2010 (14809).

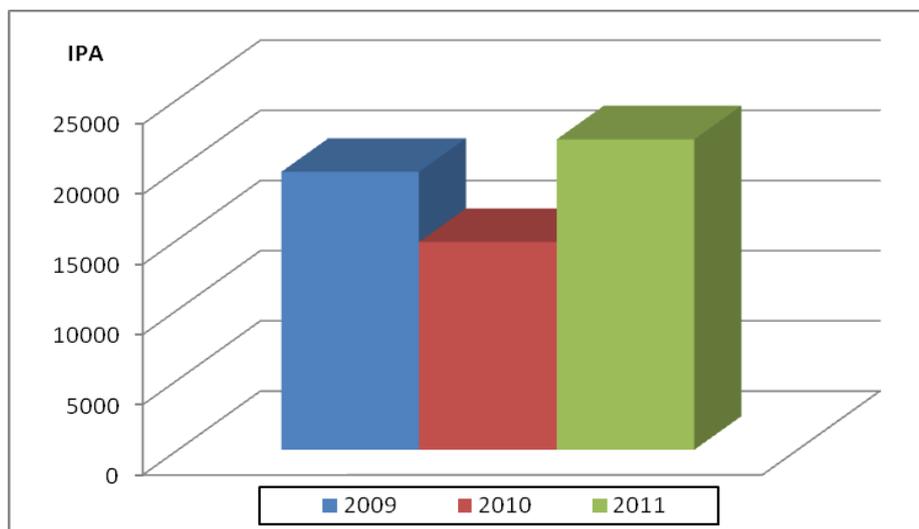


Figura 42. Índices polínicos anuales de polen total del periodo de estudio.

Los días pico de polen total en esta ciudad se han registrado el 4 de abril de 2009, el 20 de abril de 2010 y el 7 de abril de 2011 con 1292, 622 y 2469 granos de polen/m³, respectivamente.

Los tipos polínicos más frecuentes en la atmósfera de Valladolid durante el periodo de estudio 2009 a 2011 se muestran en la tabla 22. En ella observamos que el polen de *Platanus* ocupó el primer lugar en los tres años de estudio y los tipos polínicos Cupressaceae, Poaceae, *Quercus*, *Populus*, Urticaceae, *Pinus* y *Olea* ocuparon, en general, del 2º al 8º puesto, aunque en distinto orden cada año.

Orden	2009	2010	2011
1º	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>	<i>Platanus</i>
2º	Cupressaceae	Cupressaceae	<i>Quercus</i>
3º	<i>Populus</i>	Poaceae	Cupressaceae
4º	<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i>	Poaceae
5º	Poaceae	<i>Populus</i>	<i>Populus</i>
6º	<i>Pinus</i>	Urticaceae	Urticaceae
7º	<i>Olea</i>	<i>Pinus</i>	<i>Pinus</i>
8º	Urticaceae	<i>Olea</i>	<i>Castanea</i>
9º	Oleaceae	<i>Betula</i>	<i>Olea</i>
10º	Chenopodiaceae	<i>Rumex</i>	<i>Plantago</i>

Tabla 22. Tipos polínicos más abundantes en la atmósfera de Valladolid durante los tres años de estudio.

4. Análisis del tipo polínico *Platanus*

En este apartado se muestran los resultados de polen de *Platanus*, los del alérgeno Pla a 1, la relación entre ambos y la influencia que han podido tener los parámetros meteorológicos y los contaminantes en las concentraciones de este polen y este alérgeno en la atmósfera de Valladolid durante los años 2009, 2010 y 2011.

4.1. Polen de *Platanus*

El polen de *Platanus* durante los tres años que ha durado este estudio ha alcanzado un índice polínico de 18740. El valor del promedio anual obtenido en cada uno de estos años ha sido de 6247. Este tipo polínico supuso un 39%, 29,3% y 30,2% del polen total registrado durante los años 2009, 2010 y 2011 respectivamente.

Analizando el comportamiento de los granos de polen de *Platanus* a lo largo de año, se observa que aparecen en la atmósfera de Valladolid en periodos muy cortos de tiempo, concretamente desde mediados de marzo hasta principios de mayo (Figura 43).

En la curva media de distribución de este tipo polínico durante los tres años estudiados, se observan tres picos de elevadas concentraciones, el primero de ellos por las cantidades registradas en el año 2009; el segundo, el más elevado de los tres, por la contribución del polen contabilizado en 2009 y 2011 y el tercero por el polen de 2010. Además, hay que destacar el retraso del inicio del periodo polínico de *Platanus* en el año 2010.

El periodo polínico principal de *Platanus* en la ciudad de Valladolid tiene una duración muy corta, oscilando entre los 34 días del año 2009 y los 16 días del año 2011. Los días de mayores concentraciones ocurren en el mes de abril (Tabla 23).

<i>Platanus</i>	2009	2010	2011
IPA	7719	4342	6679
PPP	24 marzo-26 abril	12 abril-7 mayo	4 abril- 19 abril
Nº de días PPP	34	26	16
IP del PPP	7417	4121	6404
Porcentaje sobre polen total	39%	29,3%	30,2%
Día pico de polen	4 abril	20 abril	7 abril
Polen/m ³ del día pico	1276	605	2460

Tabla 23. Datos de polen de *Platanus* en Valladolid durante los tres años de estudio.

Si bien en la tabla 23 se indica una concentración de polen del día pico este valor puede que no se corresponda con lo representado en las gráficas dado que en éstas se acumulan días de polen para hacerlo corresponder con los días en que se acumulan resultados de alérgeno.

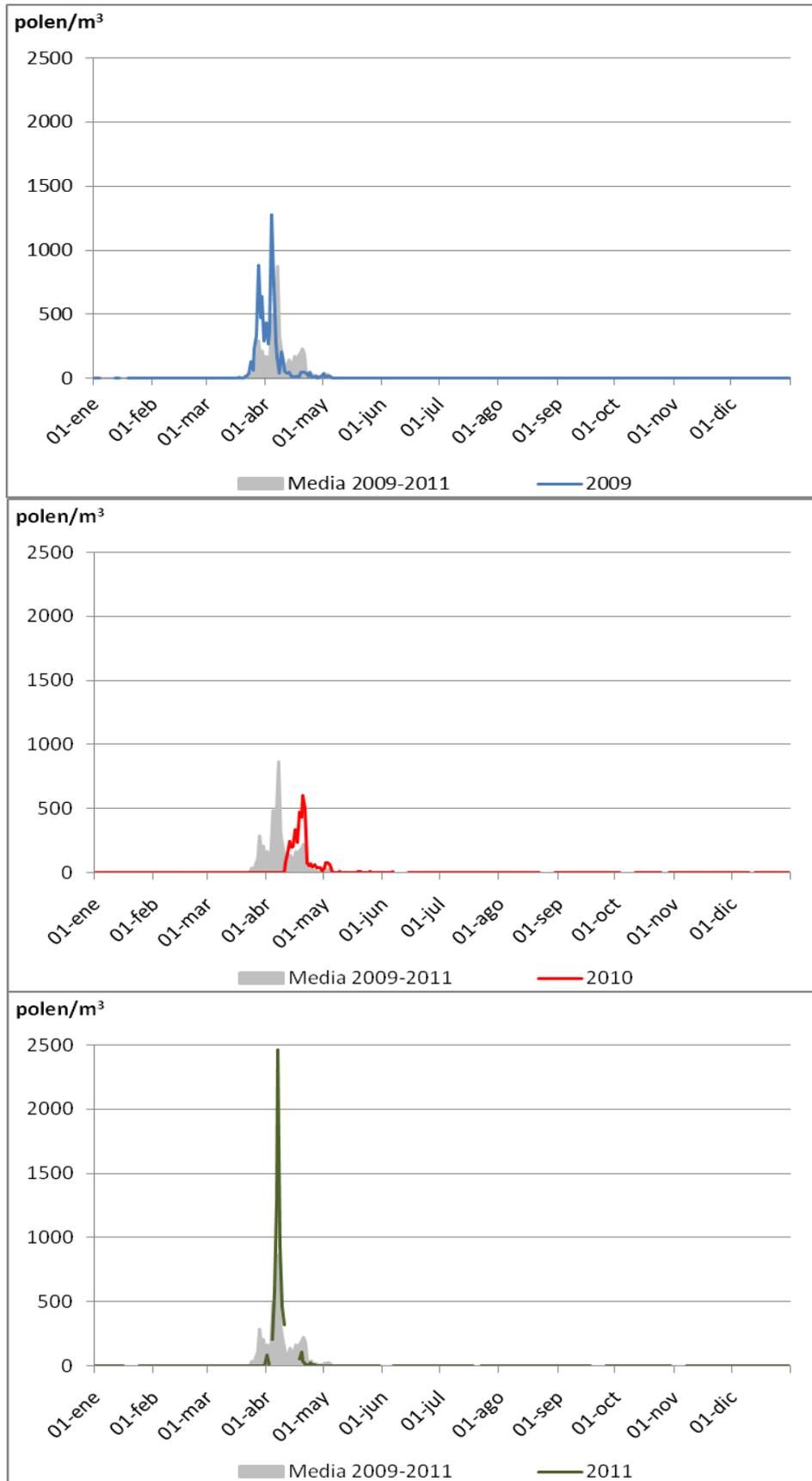


Figura 43. Niveles de polen de *Platanus* en la atmósfera de Valladolid durante 2009, 2010 y 2011 y la media del periodo de estudio.

Las concentraciones medias diarias del polen de *Platanus* pueden alcanzar en algunas ocasiones cifras muy elevadas, superiores a los 1000 granos de polen por m³. En este sentido, durante el periodo de estudio en la ciudad de Valladolid se han detectado las siguientes fechas en las que se ha superado la citada cantidad: día 4 de abril de 2009 (1276 gp/m³) y los días 6 y 7 de abril de 2011 (1286 y 2460 respectivamente)

Atendiendo a las categorías del grupo 4 establecidas por la REA (Galán *et al.*, 2007), en el periodo de estudio el número de días con concentraciones de polen de *Platanus* en cada una de ellas se muestra en la tabla 24. Tenemos que señalar que en Valladolid hubo al menos cada año 10 o más días que superaron los 50 granos de polen/m³.

Año	Categorías			
	Nulo (<1 polen/m ³)	Bajo (1-50 polen/m ³)	Moderado (51-200 polen/m ³)	Alto (>200 polen/m ³)
2009	286	48	7	13
2010	280	41	9	9
2011	287	31	3	7

Tabla 24. Número de días en los que se registran las concentraciones de polen de *Platanus* en cada categoría del grupo 4 de la REA.

4.2. Alérgeno Pla a 1

El periodo de estudio del aeroalérgeno ha sido igual o superior a 70 días en cada uno de los tres años del estudio.

Se ha detectado un total de 2557,6 de la proteína Pla a 1, con unos índices alergénicos anuales (IA) que se reflejan en la figura 44, y con un promedio anual de 852,5.

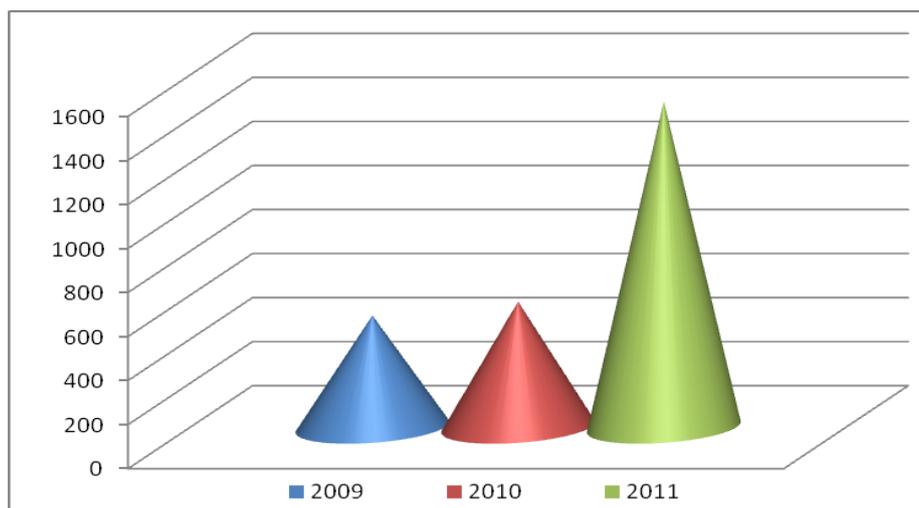


Figura 44. Índices alergénicos anuales de Pla a 1 durante el periodo de estudio.

El número de días en los que se detecta Pla a 1 fue prácticamente igual en los tres años. Pero el día pico de cada año aparece en distintas fechas entre el 27 de marzo de 2009 y el 20 de abril de 2010.

Las cantidades de este alérgeno detectadas en la atmósfera durante los años 2009 y en 2010 son muy similares y muy inferiores a las detectadas en el año 2011 (Tabla 25).

El periodo alergénico principal abarcó 21 días en 2009 y 15 días en 2010 y 2011.

		2009	2010	2011
Pla a 1	Periodo de muestreo	10 marzo-18 mayo	18 marzo-4 junio	18 marzo-31 mayo
	Días de estudio	70	79	75
	Días detección	11	11	12
	Índice alergénico	507,6	570,5	1479,5
	Día pico	27 marzo	20 abril	6 abril
	Pg/m ³ del día pico	216,3	284	751,8

Tabla 25. Datos de Pla a 1 durante el periodo de estudio de aeroalérgenos en Valladolid.

4.3. Relación entre el polen de *Platanus* y Pla a 1 e influencia de los parámetros meteorológicos y contaminantes atmosféricos

Los recuentos de polen de *Platanus* durante el periodo de estudio del aeroalérgeno en la ciudad de Valladolid, fueron más altos en los periodos correspondientes a los años 2009 (7565) y 2011 (6663), que en el periodo del año 2010 (4312).

Las cantidades anteriormente mencionadas se corresponden con el 98% del polen de *Platanus* contabilizado en el año 2009, con el 99,3% del polen registrado en 2010 y con el 99,8% de el del año 2011.

Las concentraciones más elevadas del alérgeno Pla a 1 en la atmósfera de esta ciudad durante estos tres años, se alcanzaron cuando las concentraciones de este tipo polínico eran altas (Figura 45).

En el primer pico de concentración de polen del año 2009 la cantidad de alérgeno detectada es mayor que en el segundo pico dónde se recogió más polen.

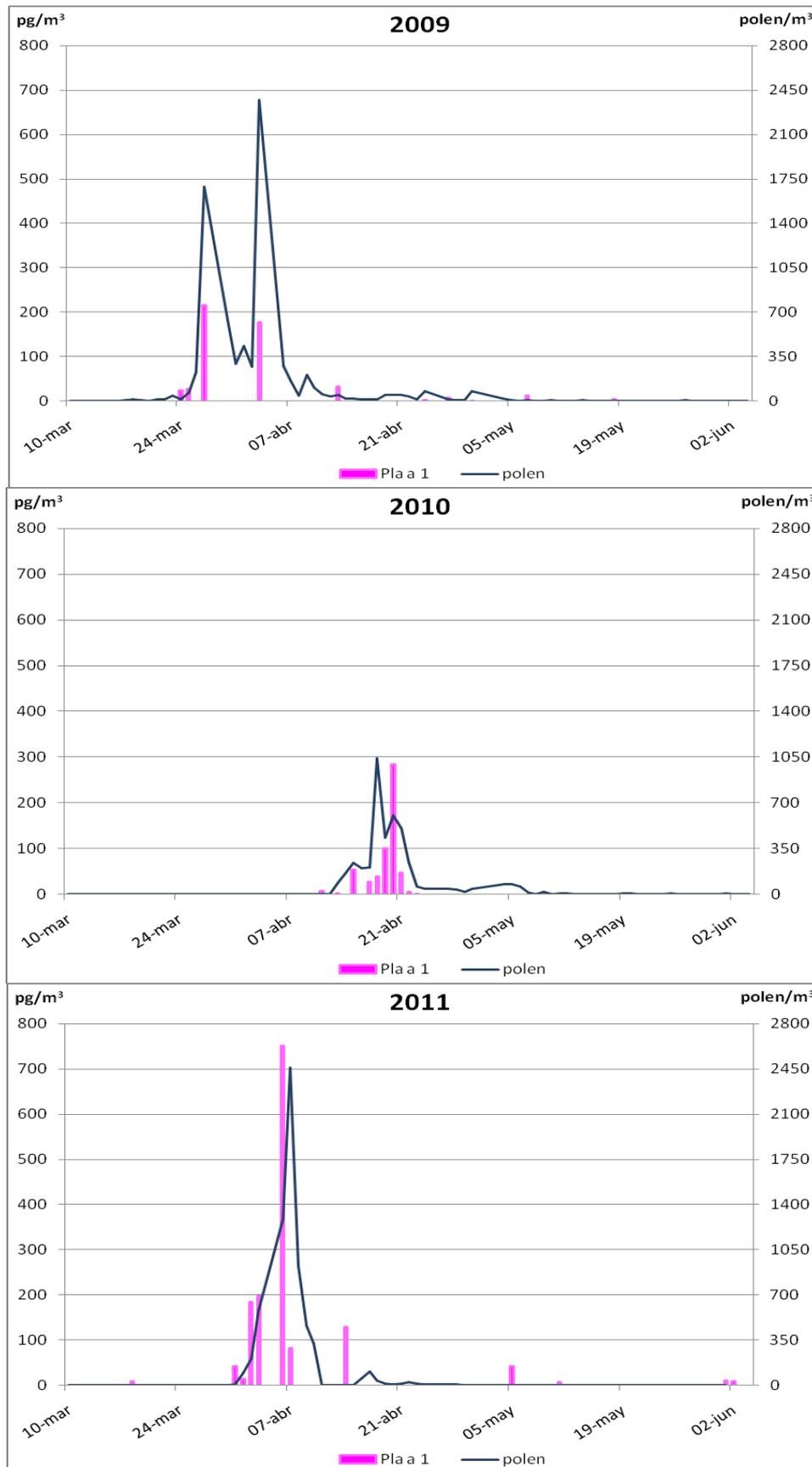


Figura 45. Concentraciones de Pla a 1 y polen de *Platanus* en Valladolid en los tres años de estudio.

La ratio alérgeno Pla a 1/polen de *Platanus* es diferente en cada uno de los tres años estudiados; así, fue más elevada en 2011 (0,22) que en 2010 (0,13), siendo la ratio más baja la observada en 2009 (0,07). La ratio media de los tres años de estudio ha sido de 0,14.

El análisis estadístico muestra unos índices de correlación entre el aeroalérgeno Pla a 1 y el polen de *Platanus* moderadamente significativos y positivos durante el periodo de estudio del año 2010 y durante los periodos alérgicos principales (PAP) de 2009 y 2010. La relación estadística entre ambos considerada en el periodo 2009-2011, tanto en el periodo de estudio de alérgeno como en el PAP explica casi el 40% de la variabilidad de los datos (Tabla 26).

	Año		Pla a 1
Polen de <i>Platanus</i>	2009	Periodo de estudio	0,24
		PAP	0,59(*)
	2010	Periodo de estudio	0,57(**)
		PAP	0,79(**)
	2011	Periodo de estudio	0,19
		PAP	0,23
	2009-2011	Periodo de estudio	0,36(**)
		PAP	0,39(**)

Tabla 26. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de *Platanus* y el alérgeno Pla a 1, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de *Platanus* y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

Si se representan conjuntamente las temperaturas máxima, media y mínima, el polen de *Platanus* y el alérgeno (Figura 46) se observa que estas temperaturas tienen un comportamiento distinto en cada año durante los veinte días previos a la aparición de los picos de polen de *Platanus* y de Pla a 1. Así las temperaturas medias de 2009 y de 2011 están, por lo general, por encima de 10°C, pero contrariamente en 2010 se observan temperaturas medias por debajo de 10°C desde el 25 de marzo hasta el 14 de abril. Las temperaturas máximas están por encima de 12°C durante los veinte días previos a los picos en 2010 y 2011 y por encima de 19°C en 2009 y por último, las temperaturas mínimas están por debajo de 5°C en 2009 y 2010 y por encima de 5°C en 2011.

Además, hay que destacar que las heladas ocurridas en Valladolid los días 30 y 31 de marzo y 1 de abril de 2009, coinciden con el descenso en los registros de polen y de Pla a 1. Esos mismos días también puede observarse descensos en las temperaturas máxima y media (Figura 46).

Existe una gran diferencia de las temperaturas de punto de rocío registradas en los tres años durante los días de más concentración de polen y alérgenos. Éstas están por encima de 8°C en 2010 y 2011 y sin embargo, en 2009 fueron inferiores a 1°C. Además, en este último año se observan temperaturas de punto de rocío con valores negativos coincidiendo con los días previos al primer pico y con el valle entre los dos valores máximos de polen y alérgeno (Figura 47).

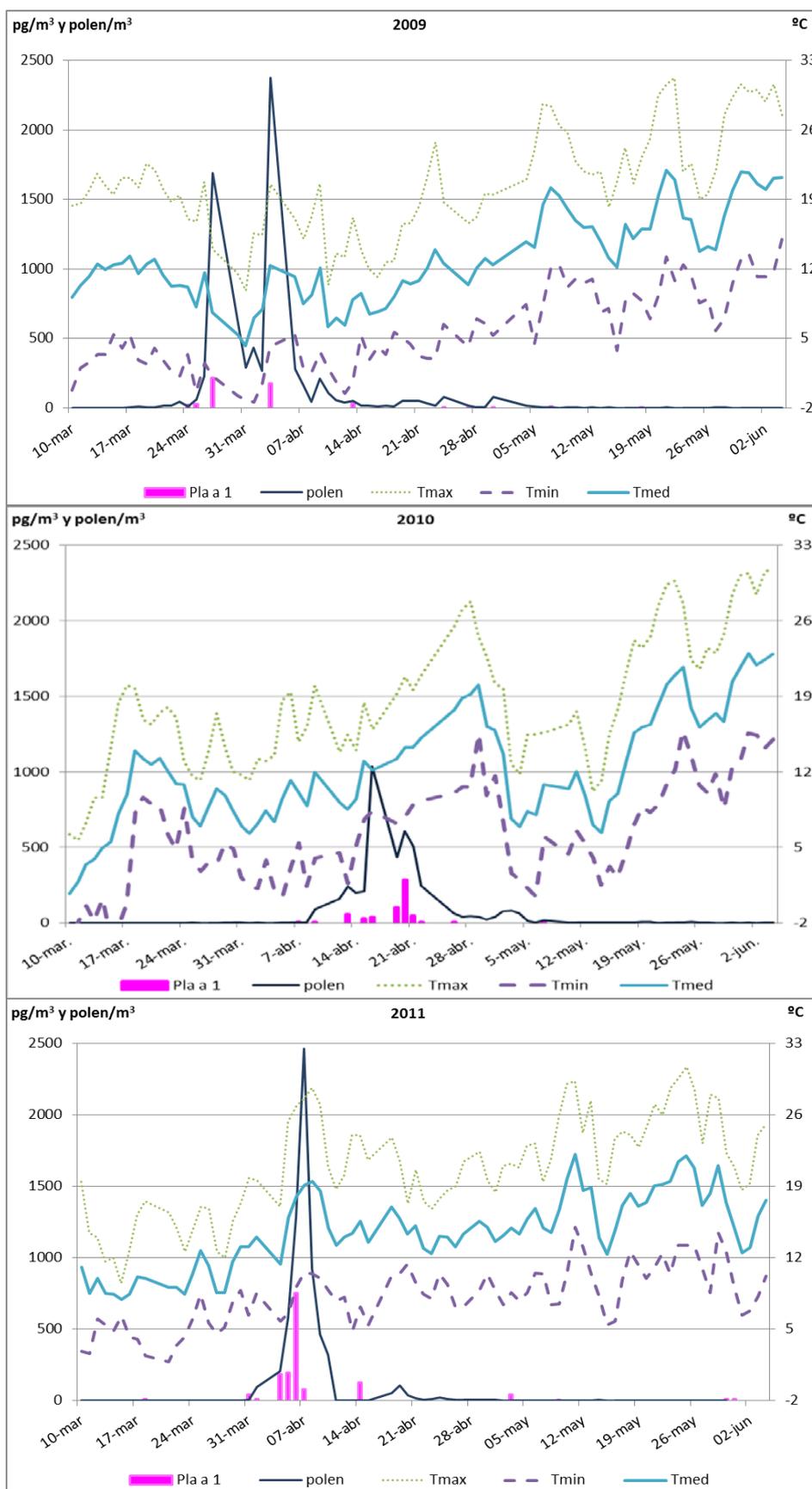


Figura 46. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de *Platanus* y temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed) en Valladolid durante el periodo de estudio.

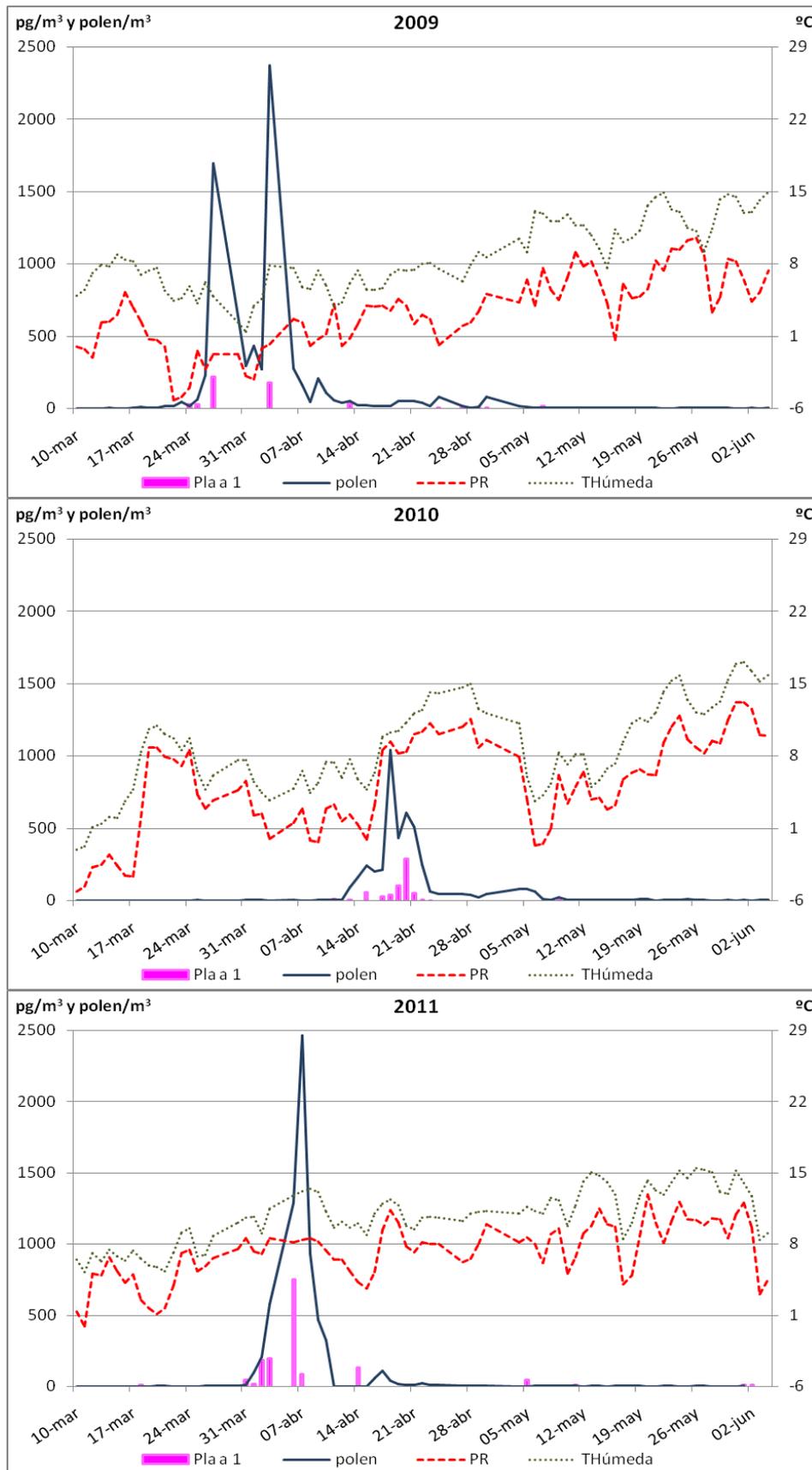


Figura 47. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de *Platanus* y temperaturas húmeda (THúmeda) y de punto de rocio (PR) en Valladolid durante el periodo de estudio.

La temperatura húmeda durante los días de cantidades elevadas de polen y de Pla a 1 se encuentra por encima de los 10°C en 2010 y 2011, pero no supera los 8°C en 2009. Pueden observarse ascensos de la temperatura húmeda coincidiendo con los picos en los años 2010 y 2011. En el año 2009 se observa un descenso en esta temperatura entre los dos picos como ocurre con el resto de temperaturas (Figura 47)

La presencia de precipitaciones durante los periodos polínicos principales de *Platanus* ha sido diferente en cada año; mientras que en 2009 y en 2010 es casi testimonial, durante el año 2011 se registraron más de 60 mm en cinco días de este periodo (del 14 al 22 de abril) (Figura 48).

En relación con la humedad relativa se observan valores del 60% durante los días de mayores concentraciones de polen y de alérgeno de 2009 y 2011, sin embargo, en 2010 los valores de humedad superan el 80% durante los días de máximas concentraciones por la coincidencia de los días de lluvia indicados en el párrafo anterior y por la presencia de neblina en esos días (Figura 48).

Si se representan los registros de evaporación e insolación con los de polen y proteínas se observa que los picos de polen de *Platanus* y de Pla a 1 coinciden con datos de evaporación entre 2 y 4 mm. Además, se observa un valor elevado de la evaporación, hasta los 11 mm, entre los dos picos de polen y proteínas en 2009 (Figura 49).

En cuanto a la insolación se observa en 2009 una disminución brusca entre los dos picos de polen y alérgenos; en 2010 hubo algunos descensos en la curva de la insolación coincidentes con los días de lluvia durante el periodo de máximos registros de polen y de alérgenos y que el día pico de Pla a 1, el 6 de abril de 2011, tuvo menos de 6 horas de insolación (Figura 49).

La velocidad del viento durante los días de mayores concentraciones de polen y de alérgeno en 2010 y 2011 fue próxima a los 5 km por hora y ligeramente superior durante el segundo pico de 2009. Sin embargo, se observa que durante el primer pico de 2009 el viento sopló a 12 km por hora (Figura 50).

Se representan conjuntamente la radiación solar y la distribución de ozono (Figura 51) por la implicación de la primera en la generación del segundo. De esta manera, en la gráfica de 2009 se puede apreciar un descenso de la radiación solar por debajo de 15 MJ/m², el día 31 de marzo, entre los dos picos de polen y de alérgeno. También en 2010, después de radiaciones recibidas por encima de 20 MJ/m² durante más de 10 días a principios de abril, en concreto del 4 al 13 de abril, se observa un descenso brusco de la radiación por debajo de 15 MJ/m² los días 14, 15 y 16 de abril, los días anteriores a los picos de polen y de Pla a 1, volviendo a registrarse radiaciones por encima de 20 MJ/m² los dos días de mayores concentraciones de Pla a 1, el 19 y 20 de abril. En 2011 la radiación de los días previos a la aparición de los días de mayores concentraciones de polen y alérgeno estuvo por debajo de 20 MJ/m², superando ese valor los días de mayores concentraciones de polen y Pla a 1 (Figura 51).

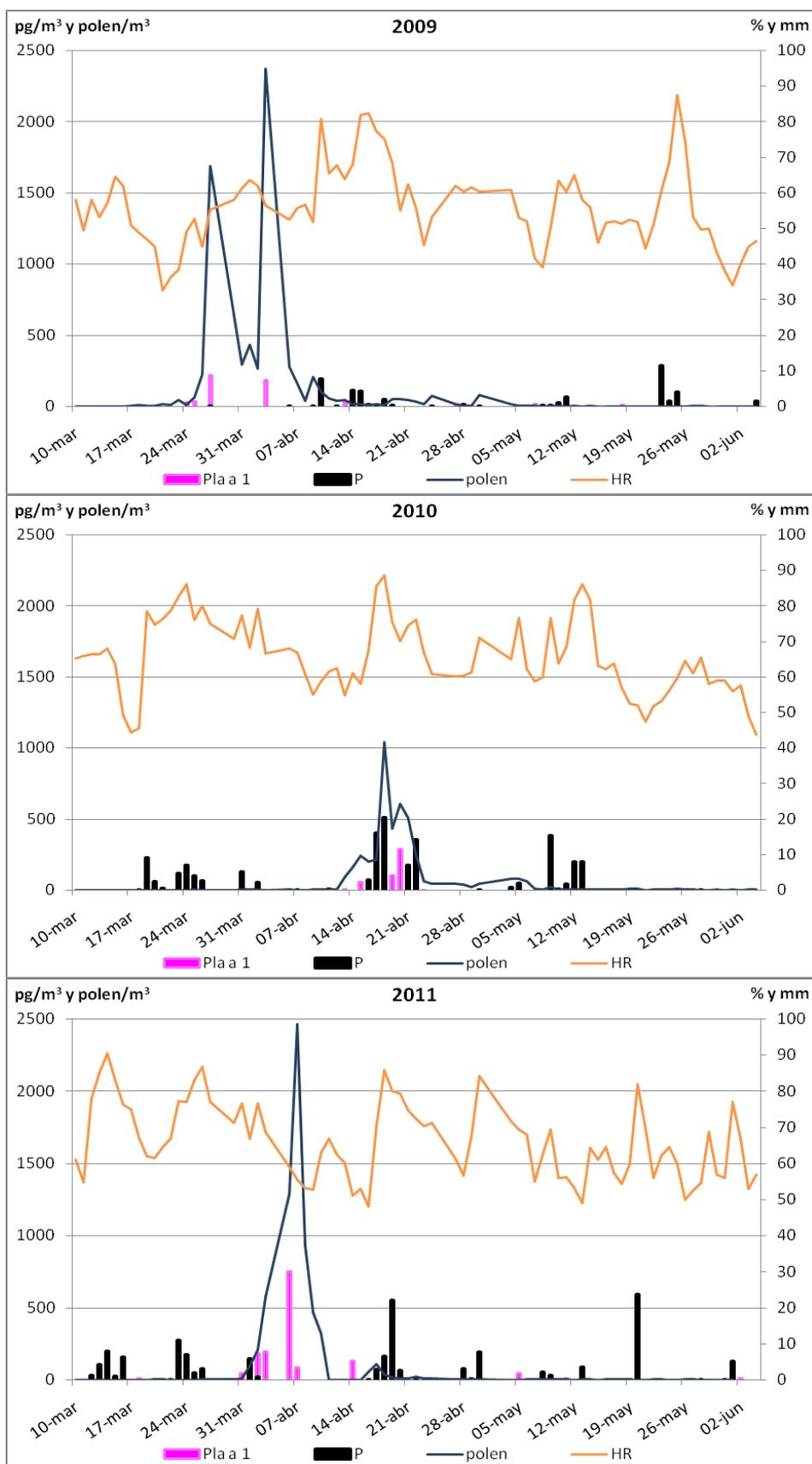


Figura 48. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de *Platanus*, precipitaciones (P) y humedad relativa (HR) en Valladolid durante el periodo de estudio.

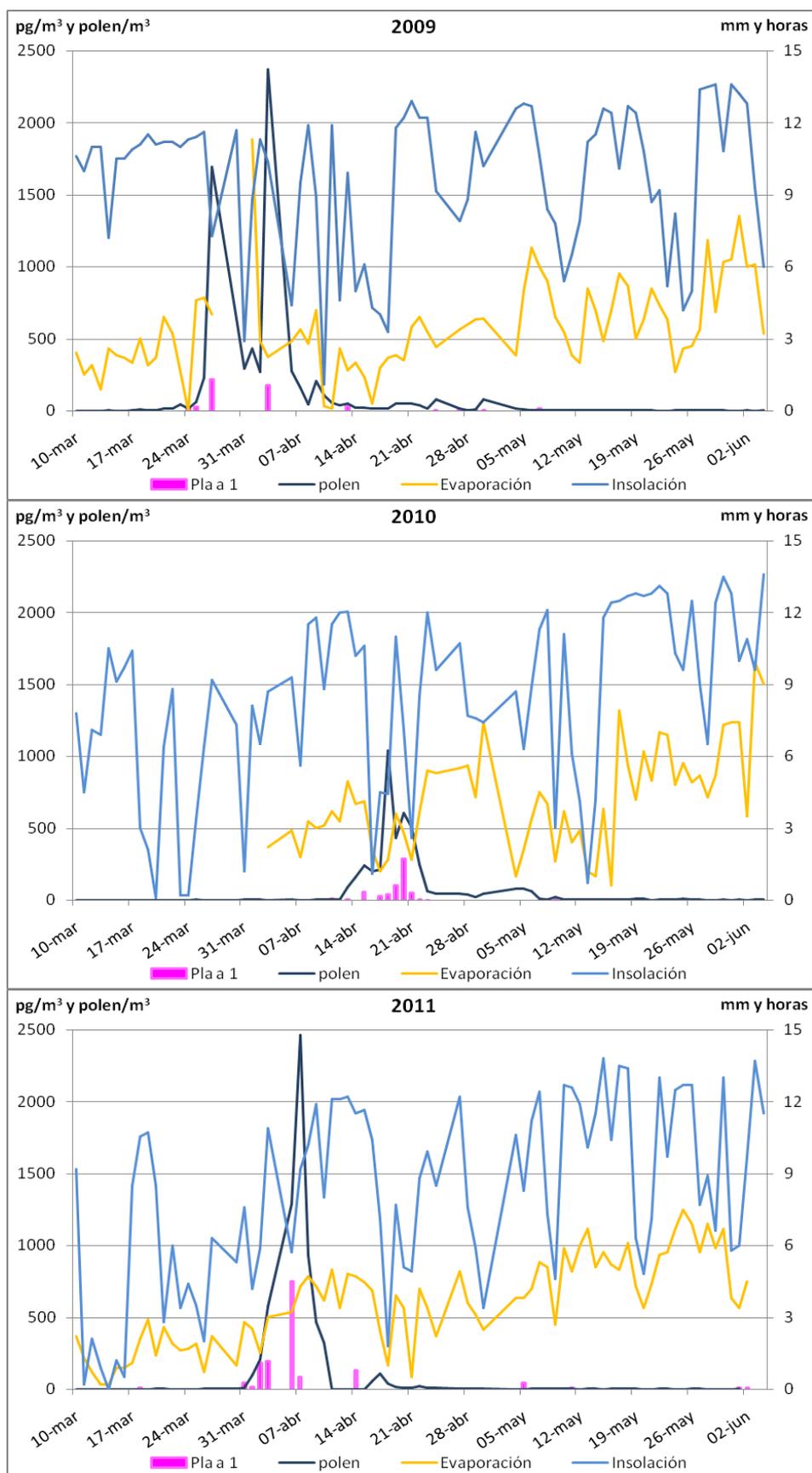


Figura 49. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de *Platanus*, evaporación e insolación en Valladolid durante el periodo de estudio.

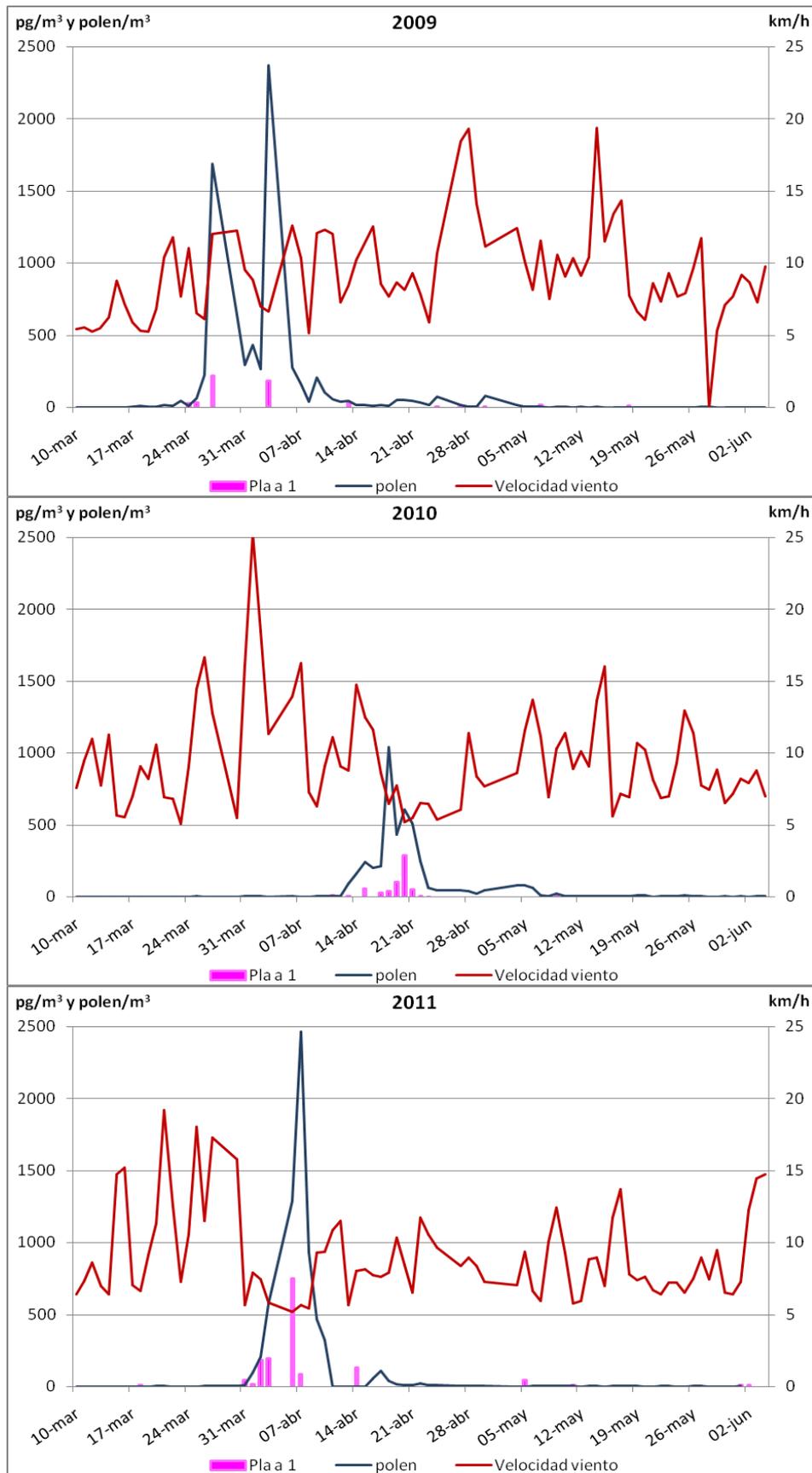


Figura 50. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de *Platanus* y velocidad del viento en Valladolid durante el periodo de estudio.

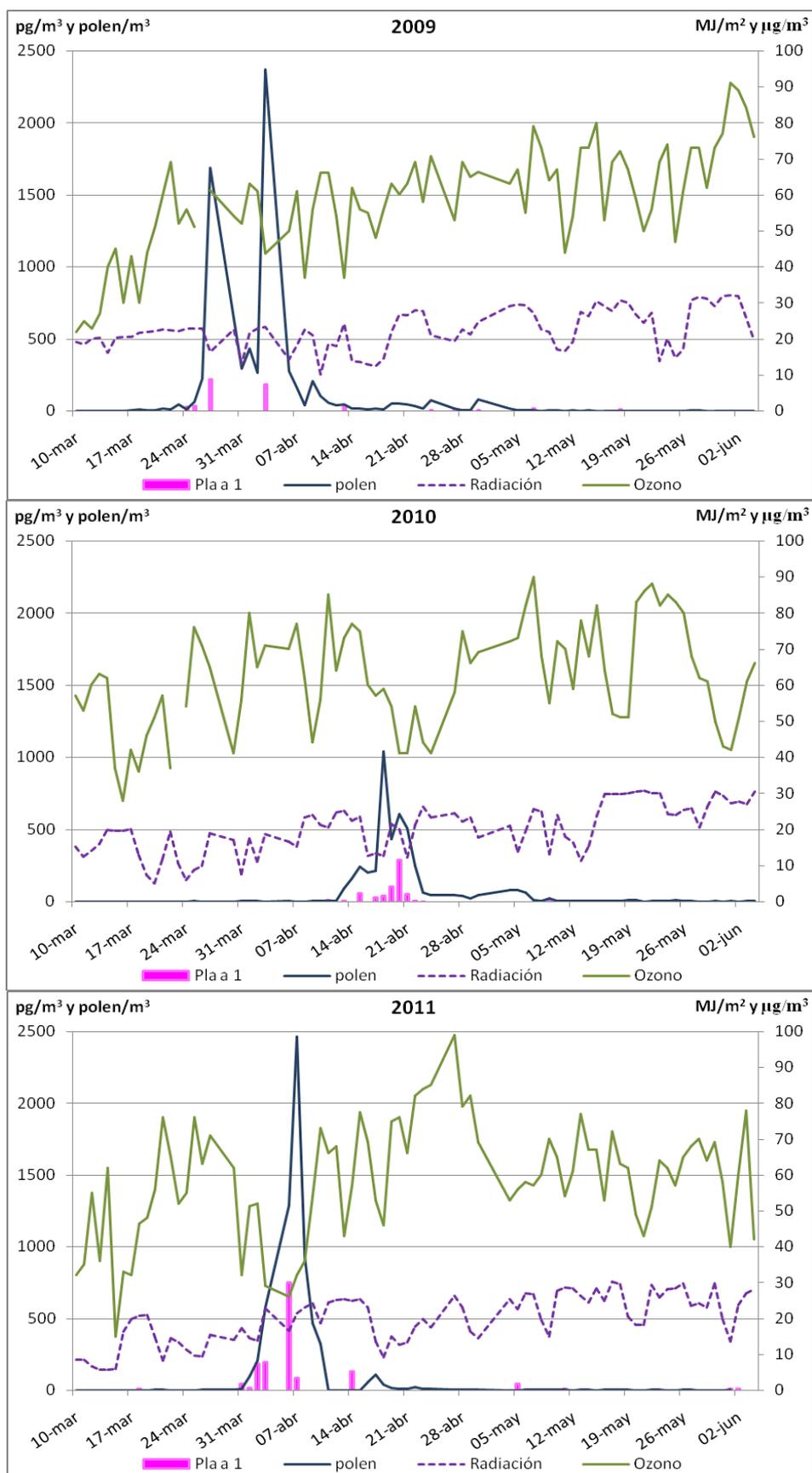


Figura 51. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de *Platanus*, radiación solar y ozono en Valladolid durante el periodo de estudio.

Analizando los datos de ozono (Figura 51) se puede observar que en Valladolid las concentraciones medias superaron los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ desde finales de marzo hasta finales de agosto, con descensos puntuales por debajo de ese valor. Los días 27 de marzo y 4 y 13 de abril de 2009 hay descensos acusados y puntuales de la concentración de ozono que coinciden con los picos de Pla a 1. El día 20 de abril de 2010 hay una brusca disminución de la cantidad de ozono que coincide con el día de mayor concentración de Pla a 1 y el día 6 de abril de 2011 hay un descenso brusco de ozono, desde los $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del día 3 a los $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mencionado día 6, en que ocurre el pico de Pla a 1. Sin embargo, no ocurre esa coincidencia entre los días de mayor concentración de polen de *Platanus* y los días de menores concentraciones de ozono.

En relación con el material particulado PM10 (Figura 52) se observan dos picos (por encima de 30 y $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que concuerdan con los dos picos de polen y de alérgeno en 2009, así como un pico coincidente (superior a $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$) con el pico de polen y de Pla a 1 en 2011. Lo contrario ocurre en 2010, dónde las concentraciones de PM10 estuvieron por debajo de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ los días pico de polen y de Pla a 1. Similar comportamiento se observa con PM2,5. También hubo concentraciones elevadas de ambos tipos de material particulado fuera del periodo polínico principal en cada uno de los tres años.

Respecto a los óxidos de nitrógeno (NO_x) (Figura 53), los rangos en los que se encuentran cada uno durante los días de máximas concentraciones de polen y de Pla a 1 son de 30 a $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NO y entre 45 y $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el NO_2 . En la gráfica de 2009 se observa que los principales cantidades de Pla a 1 son coincidentes con las de monóxido de nitrógeno (NO), los días 26-27 de marzo, 3 y 13 de abril. El 20 de abril de 2010 concuerdan los picos de Pla a 1, polen de *Platanus* y NO, y el 6 de abril de 2011 coinciden los picos de Pla a 1 y NO, situándose el pico de polen de *Platanus* al día siguiente. Además, los picos de Pla a 1 y de polen de *Platanus* son coincidentes con picos de dióxido de nitrógeno muy similar a lo que ocurre con el monóxido de nitrógeno. Las curvas de ambos compuestos nitrogenados tienen una distribución similar, casi paralela. También se observan elevadas concentraciones de ambos contaminantes en otros días fuera de los periodos polínicos principales.

De las gráficas en las que se representa el monóxido de carbono y el dióxido de azufre (Figura 54) puede verse que hay coincidencia del primer pico de polen y alérgeno de 2009, y de los picos de 2010 y 2011 con los de dióxido de azufre. Hay que indicar que el pico de polen y el de alérgeno de 2011, que corresponden a las cantidades más elevadas de los tres años, coinciden con concentraciones muy altas de dióxido de azufre, del orden de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a diferencia de los picos de polen y Pla a 1 de 2009 y 2010 en los que las concentraciones de dióxido de azufre están en torno a $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$; en la figura 40 ya se pone de manifiesto que el promedio de la concentración de dióxido de azufre del mes de abril de 2011 supera los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que el promedio del mismo mes de 2009 y 2010 es muy inferior, de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. No obstante no se observa ninguna correspondencia con las curvas de monóxido de carbono.

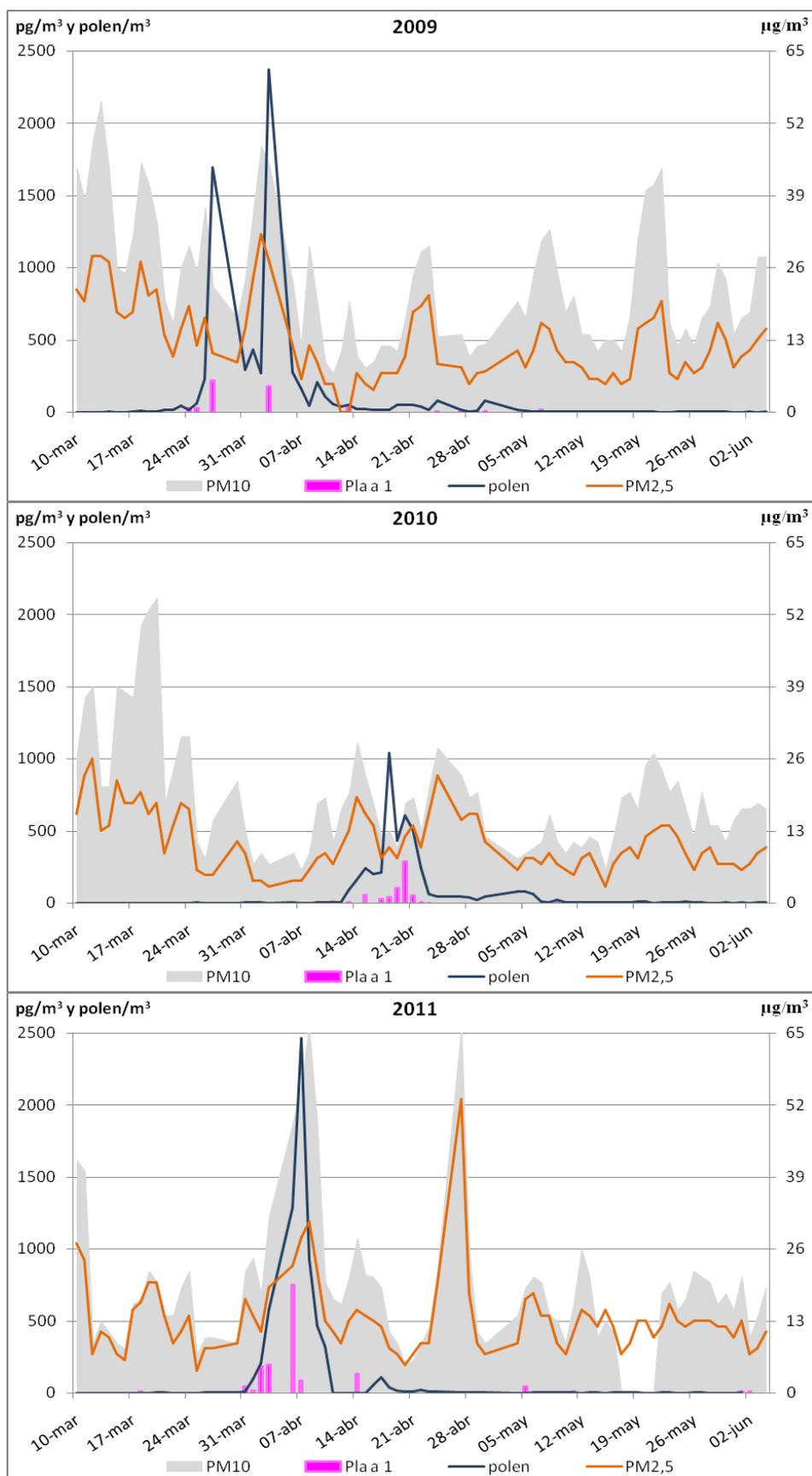


Figura 52. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1, polen de *Platanus*, PM10 y PM2,5 en Valladolid durante el periodo de estudio.

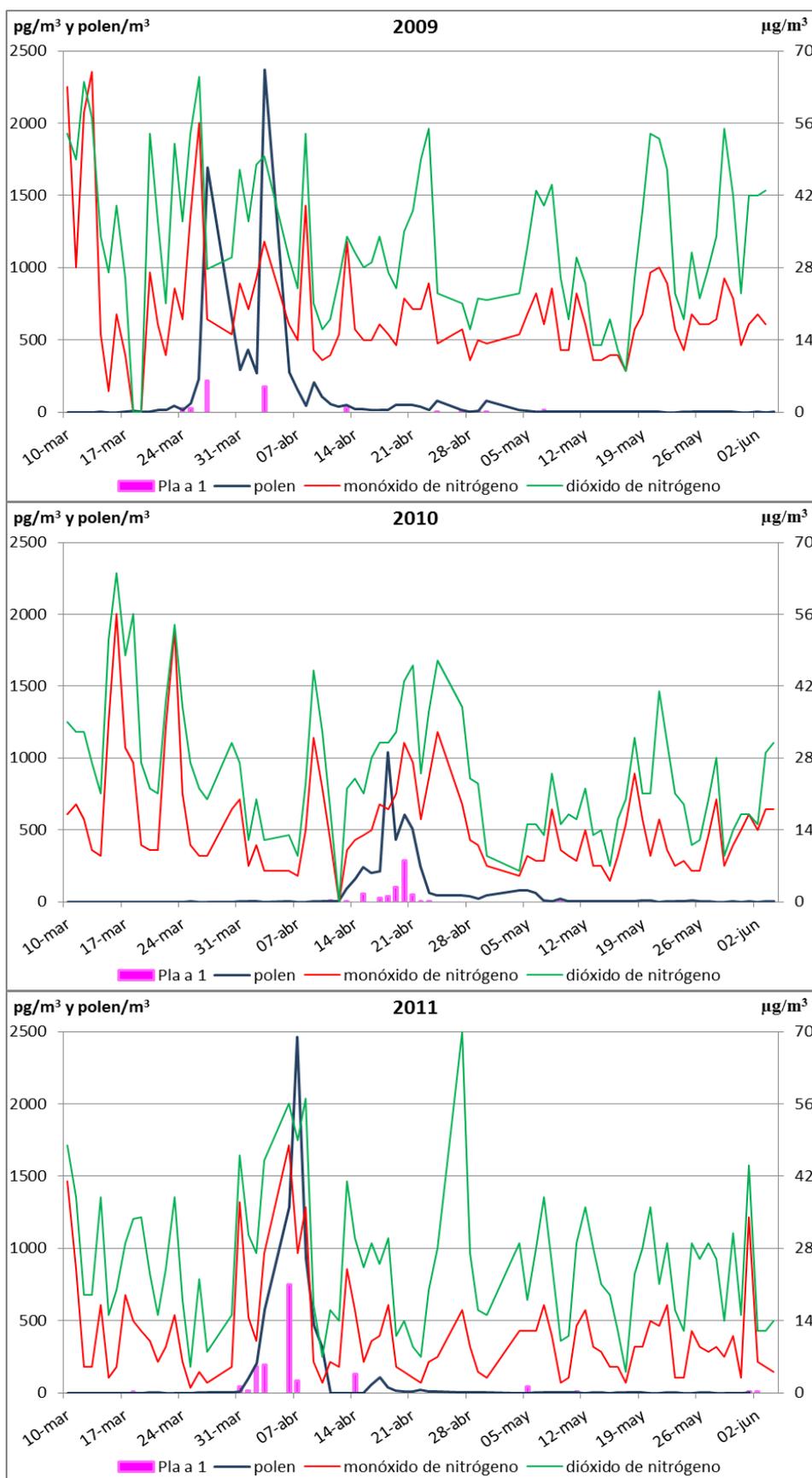


Figura 53. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1, polen de *Platanus*, monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno en Valladolid durante el periodo de estudio.

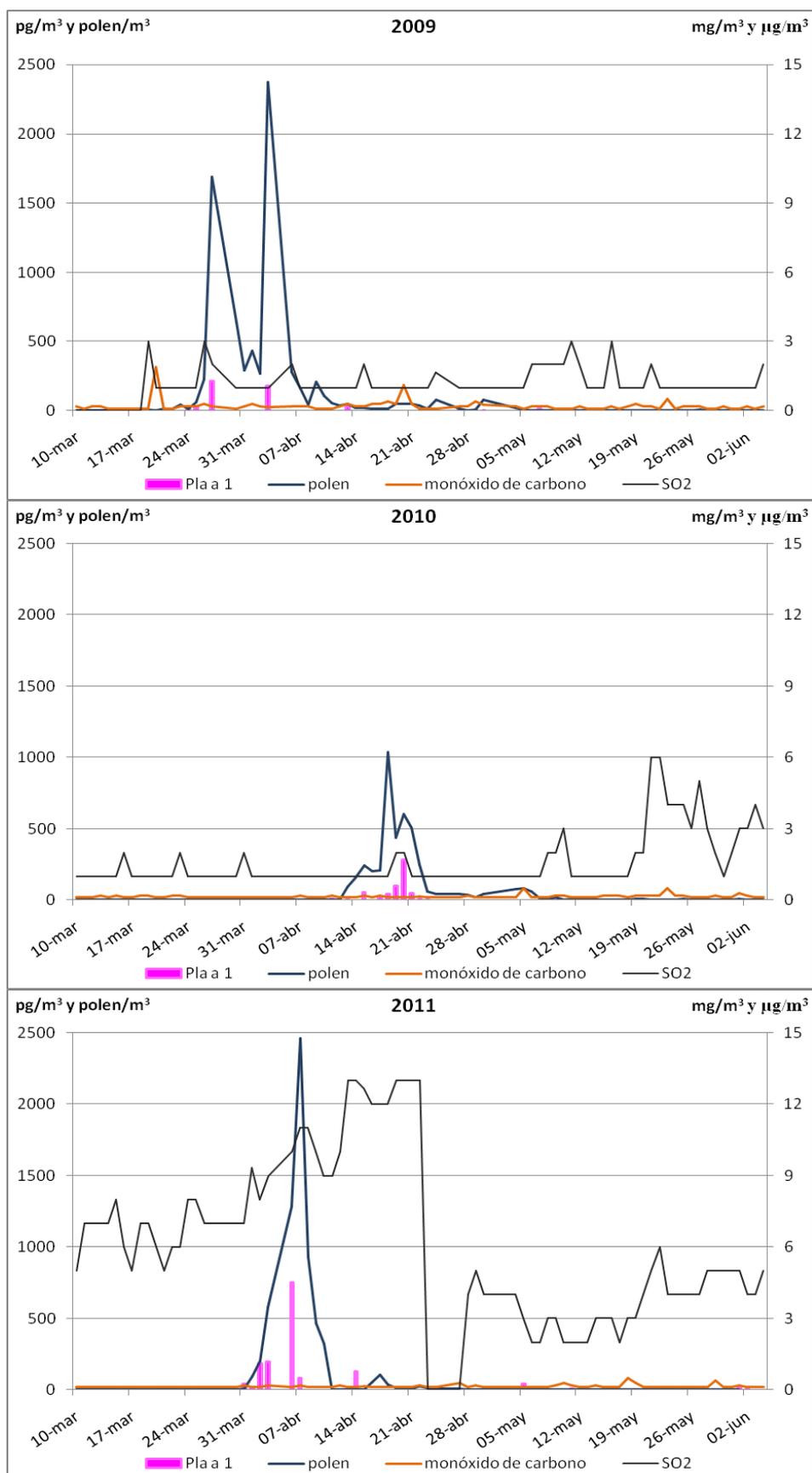


Figura 54. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1, polen de *Platanus*, monóxido de carbono y dióxido de azufre en Valladolid durante el periodo de estudio.

Los análisis estadísticos para comprobar si existen correlaciones entre la concentración de polen de *Platanus* y los parámetros meteorológicos y los contaminantes atmosféricos se han llevado a cabo teniendo en cuenta el año completo y el periodo polínico principal. Los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos en estos análisis entre el polen de *Platanus* y los distintos parámetros meteorológicos estudiados en este trabajo, se muestran en la tabla 27.

Del conjunto de coeficientes de correlación obtenidos con los parámetros meteorológicos, más de la mitad no han sido significativos y de aquellos que son significativos, aproximadamente la mitad lo son a un nivel de significación del 99% y la otra mitad a un nivel de significación del 95% y, en general, el valor de dicho coeficiente es bajo.

También de forma general, se observa que los índices de correlación entre los parámetros meteorológicos y las concentraciones de polen de *Platanus*, son diferentes tanto en los análisis que tienen en cuenta los datos de los años/periodo completos, como en los análisis que tienen en cuenta los datos del PPP. Sin embargo, como excepción se observa una correlación significativa al 99%/95% y positiva entre la radiación solar, insolación y el polen de *Platanus* considerando solo los años y el periodo 2009-2011.

Cabe destacar que durante el periodo polínico principal de 2011 los coeficientes de correlación más altos y positivos son con la temperatura máxima, con la temperatura húmeda y con la frecuencia del viento procedente del cuarto cuadrante y son altos y negativos con la velocidad del viento, todos ellos considerando un nivel de significación del 95%. Asimismo, la casi totalidad de los coeficientes de correlación entre el polen de *Platanus* y los parámetros anteriormente citados en los PPP de 2009, 2010 y 2009-2010 no son significativos.

Los coeficientes de correlación de Spearman obtenidos entre el polen de *Platanus* y los distintos contaminantes atmosféricos analizados en este estudio, no han sido significativos en más de la mitad de los mismos (Tabla 28). Si se tiene en cuenta los coeficientes significativos la mayoría, lo son con un nivel de significación del 99% y son dispares en cada uno de los tres años y en cada uno de los tres PPP.

Resulta importante la correlación positiva con coeficientes elevados observada entre el polen de *Platanus* y el material particulado, tanto PM10 como PM2,5, en el PPP de 2011, y con coeficientes moderados en el PPP de 2009 y en el periodo 2009-2011.

Se han encontrado índices de correlación significativos, positivos y bajos, entre las concentraciones del polen de *Platanus* y el ozono, los años 2009, 2010 y en el periodo 2009-2011, y negativo en el periodo polínico principal del periodo 2009-2011.

		2009	2010	2011	2009-2011
Tmax	Año	-0,05	0,14(*)	0,17(**)	0,08(*)
	PPP	0,06	-0,25	0,73(*)	0,16
Tmin	Año	-0,21(**)	0,09	0,18(**)	0,002
	PPP	-0,36(*)	-0,12	0,23	0,05
Tmed	Año	-0,11(*)	0,13(*)	0,19(**)	0,06
	PPP	-0,10	-0,21	0,65	0,13
THúmeda	Año	-0,18(**)	0,12(*)	0,19(**)	0,03
	PPP	-0,11	-0,18	0,70(*)	0,13
PR	Año	-0,30(**)	0,12(*)	0,27(**)	-0,002
	PPP	-0,41(*)	-0,05	0,37	0,007
HR	Año	-0,18(**)	-0,08	-0,10	-0,13(**)
	PPP	-0,36(*)	0,52(**)	-0,13	-0,10
P	Año	-0,06	0,05	0,07	0,01
	PPP	-0,48(**)	0,44(*)	-0,53	-0,10
Evaporación	Año	0,07	0,09	0,30(**)	0,14(**)
	PPP	0,25	-0,56(**)	0,43	0,005
Insolación	Año	0,16(**)	0,14(**)	0,11(*)	0,14(**)
	PPP	0,01	-0,38	-0,03	-0,07
Radiación	Año	0,25(**)	0,29(**)	0,27(**)	0,27(**)
	PPP	0,09	-0,51(**)	0,50	-0,10
Velocidad	Año	0,09	0,06	0,30(**)	0,12(**)
	PPP	0,13	-0,14	-0,70(*)	-0,12
FR1C	Año	0,11(*)	0,08	0,15(*)	0,11(**)
	PPP	0,39(*)	0,21	0,18	0,26(*)
FR2C	Año	-0,12(*)	-0,06	0,07	-0,05
	PPP	-0,29	0,18	-0,22	-0,01
FR3C	Año	-0,12(*)	-0,10	-0,12	-0,12(**)
	PPP	-0,33	-0,13	-0,35	-0,23
FR4C	Año	0,04	0,10	-0,05	0,05
	PPP	0,15	-0,54(**)	0,71(*)	-0,07
FRCALMA	Año	-0,04	-0,07	-0,17(*)	-0,09(**)
	PPP	-0,004	0,16	-0,34	0,03

Tabla 27. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de *Platanus* y los parámetros meteorológicos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

El polen de *Platanus* se correlaciona significativamente con índices bajos y negativos (2009, 2010 y 2009-2011) o positivos (2011 y PPP del periodo 2009-2011) con el dióxido de azufre. Algo similar ocurre con los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), con coeficientes bajos y negativos (2010, 2011 y 2009-2011) o positivos (PPP del periodo 2009-2011) (Tabla 28).

No se observan correlaciones significativas del polen de *Platanus* con el monóxido de carbono ni con el benceno.

		2009	2010	2011	2009-2011
PM10	Año	0,03	-0,16(**)	0,03	-0,02
	PPP	0,51(**)	-0,11	0,79(*)	0,43(**)
PM2,5	Año	-0,02	-0,14(*)	-0,06	-0,08(*)
	PPP	0,40(*)	-0,07	0,85(**)	0,36(**)
NO	Año	-0,04	-0,22(**)	-0,23(**)	-0,15(**)
	PPP	0,21	0,23	0,64	0,24(*)
NO ₂	Año	-0,06	-0,23(**)	-0,12(*)	-0,13(**)
	PPP	0,16	0,31	0,63	0,26(*)
CO	Año	-0,03	-0,06	0,04	-0,01
	PPP	-0,09	-0,01	0,51	-0,10
SO ₂	Año	-0,20(**)	-0,27(**)	0,21(**)	-0,12(**)
	PPP	0,20	-0,02	-0,15	0,32(**)
O ₃	Año	0,32(**)	0,30(**)	0,01	0,22(**)
	PPP	-0,25	-0,20	0,09	-0,30(*)
C ₆ H ₆	Año	-0,05	.	-0,05	-0,04
	PPP	0,09	.	.	0,06

Tabla 28. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de *Platanus* y los contaminantes atmosféricos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

Para el análisis de correlación entre Pla a 1 con las variables meteorológicas y contaminantes se han considerado el periodo de estudio de los alérgenos y los periodos alérgicos principales (PAP). Los resultados muestran que la mayoría de los coeficientes no son significativos y de los que si lo son la mayor parte lo hacen con un nivel de significación del 95% y en general, con índices bajos (Tabla 29 y 30).

El análisis estadístico para ver la relación entre Pla a 1 y los parámetros meteorológicos muestra que no hay ninguna correlación significativa durante los años 2009 y 2011, a excepción de lo observado con la velocidad del viento en 2011.

Es de destacar, por presentar índices moderados, las correlaciones significativas positivas observadas de Pla a 1 con la temperatura mínima, la temperatura media, la temperatura húmeda, la humedad relativa, los periodos de calma y el viento procedente del suroeste y negativa con la velocidad del viento y el viento procedente del noreste en el periodo alérgico principal (PAP) de 2010.

Menos destacable, por presentar índices bajos, son la correlación significativa negativa entre Pla a 1 y la velocidad del viento en el periodo de estudio de 2011 y la negativa con la evaporación y la positiva con el viento procedente del sureste y los periodos de calmas en el periodo de estudio de 2010.

Se observa que no hay ninguna correlación en ninguno de los periodos con las precipitaciones, la insolación y la radiación.

		2009	2010	2011	2009-2011
Tmax	Periodo de estudio	-0,03	0,005	0,06	0,01
	PAP	0,26	0,42	0,02	0,27
Tmin	Periodo de estudio	0,03	0,009	-0,15	-0,02
	PAP	0,23	0,55(*)	-0,15	0,25
Tmed	Periodo de estudio	-0,001	0,02	0,003	0,009
	PAP	0,22	0,60(*)	0,04	0,30(*)
THúmeda	Periodo de estudio	0,002	0,03	-0,02	0,01
	PAP	0,27	0,62(*)	0,01	0,33(*)
PR	Periodo de estudio	-0,04	0,09	-0,02	0,01
	PAP	0,09	0,47	0,22	0,30(*)
HR	Periodo de estudio	-0,06	0,20	0,04	0,05
	PAP	-0,19	0,61(*)	0,13	0,13
P	Periodo de estudio	-0,06	0,19	-0,14	-0,009
	PAP	-0,01	0,20	0,25	0,09
Evaporación	Periodo de estudio	0,12	-0,27(*)	-0,17	-0,10
	PAP	-0,38	-0,31	-0,49	-0,07
Insolación	Periodo de estudio	0,00	-0,08	-0,05	-0,04
	PAP	-0,06	-0,27	-0,48	-0,02
Radiación	Periodo estudio	0,17	-0,11	-0,10	-0,04
	PAP	0,24	-0,33	0,36	0,12
Velocidad	Periodo de estudio	0,13	-0,19	-0,31(*)	-0,12
	PAP	0,04	-0,59(*)	-0,46	-0,34(*)
FR1C	Periodo de estudio	-0,007	0,15	0,09	0,08
	PAP	0,06	-0,64(**)	0,02	-0,06
FR2C	Periodo de estudio	0,03	0,24(*)	-0,02	0,07
	PAP	-0,02	0,49	0,35	0,28(*)
FR3C	Periodo de estudio	0,07	-0,06	-0,08	-0,03
	PAP	-0,03	0,66(**)	0,03	0,11
FR4C	Periodo de estudio	0,11	-0,13	0,19	0,04
	PAP	-0,02	0,33	-0,06	0,01
FRCALMA	Periodo de estudio	0,17	0,28(*)	0,04	0,16(*)
	PAP	0,10	0,57(*)	0,12	0,21

Tabla 29. Coeficientes de correlación de Spearman entre Pla a 1 y los parámetros meteorológicos, considerando el periodo de estudio de Pla a 1 y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

Al igual que con las variables meteorológicas tampoco se observan correlaciones significativas de Pla a 1 con los contaminantes en el año 2009.

En conjunto, se observan índices significativos y positivos con todos los contaminantes atmosféricos, a excepción de los coeficientes de correlación negativos observados con el ozono. Además, no se observan correlaciones significativas con el benceno (Tabla 30).

Hay que destacar, las correlaciones positivas observadas con el monóxido de nitrógeno tanto en el periodo de estudio como en el periodo alergénico principal de 2010, 2011 y en el conjunto de 2009-2011 y los índices de correlación positivos con el dióxido de nitrógeno en los mismos años aunque sólo durante el periodo de estudio.

También se han de resaltar los índices significativos y negativos encontrados con el ozono, llegando a explicar más del 50% de la variabilidad de los datos en el periodo de estudio de 2011 y en el PAP de 2010, explicando menor variabilidad de los datos en el conjunto de los periodos de estudio y en el PAP de 2009-2011.

		2009	2010	2011	2009-2011
PM10	Periodo de estudio	0,02	-0,01	0,34(**)	0,12
	PAP	0,23	-0,22	0,23	0,11
PM2,5	Periodo de estudio	-0,05	0,15	0,29(*)	0,11
	PAP	0,17	-0,21	0,27	0,13
NO	Periodo de estudio	0,15	0,29(*)	0,48(**)	0,31(**)
	PAP	0,15	0,56(*)	0,52(*)	0,32(*)
NO ₂	Periodo de estudio	0,03	0,26(*)	0,38(**)	0,24(**)
	PAP	0,06	0,40	0,43	0,27
CO	Periodo de estudio	0,21	0,10	0,16	0,16(*)
	PAP	-0,01	0,16	0,23	0,01
SO ₂	Periodo de estudio	0,12	-0,08	0,18	0,05
	PAP	0,19	0,59(*)	-0,18	0,16
O ₃	Periodo de estudio	0,08	-0,17	-0,51(**)	-0,22(**)
	PAP	-0,22	-0,54(*)	-0,47	-0,33(*)
C ₆ H ₆	Periodo de estudio	-0,12	0,07	-0,05	-0,03
	PAP	-0,18	.	.	-0,14

Tabla 30. Coeficientes de correlación de Spearman entre Pla a 1 y los contaminantes atmosféricos, considerando el periodo de estudio de Pla a 1 y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

5. Análisis del tipo polínico Poaceae

En este apartado se mostraran los resultados sobre el polen de Poaceae, los de los alérgenos mayores Lol p 1 y Lol p 5, la relación entre ellos y la influencia que han podido tener los parámetros meteorológicos y los contaminantes del aire en las concentraciones de polen y alérgenos.

5.1. Polen de Poaceae

Durante el periodo de estudio, el polen de Poaceae ha alcanzado un índice polínico de 4346 (839 en 2009, 1538 en 2010 y 1968 en 2011), con un promedio anual de 1449.

El polen de *Poaceae* fue el tipo polínico más importante en la atmósfera de la ciudad de Valladolid de plantas herbáceas y supuso un 4,2%, 10,4% y 8,9% del polen total en los años 2009, 2010, 2011, respectivamente (Tabla 28).

El polen de Poaceae en la atmósfera de Valladolid tuvo mayor presencia durante los meses de mayo, junio y julio (Figura 55). En la mencionada figura podemos ver que en 2009, las concentraciones están por debajo de la media del periodo 2009-2011. En 2010 hay día a finales de mayo que tuvo la concentración más alta (259 granos de polen/m³) y también hubo picos con concentraciones por encima de la media del periodo a principios de junio. Sin embargo, en 2011 se aprecian mayores concentraciones durante el mes de junio y principios de julio que en la curva promedio de los tres años.

El periodo polínico principal de gramíneas va desde finales de febrero a finales de agosto, siendo más prolongado en el año 2009 que en 2010 y 2011 (Tabla 31)

Los días pico de polen de gramíneas ocurren en meses distintos cada año y con cantidades máximas muy diferentes. La cantidad máxima diaria (259 granos de polen/m³) se registró el 24 de mayo de 2010.

Poaceae	2009	2010	2011
IPA	839	1538	1969
PPP	22 febrero-30 agosto	2 marzo-1 agosto	18 marzo-16 agosto
Nº de días del PPP	190	153	152
IP del PPP	798	1460	1869
Porcentaje sobre polen total	4,2%	10,4%	8,9%
Día pico de polen	12 julio	24 mayo	21 junio
Polen/m ³ del día pico	30	259	114

Tabla 31. Datos de polen de Poaceae en Valladolid durante los tres años de estudio.

Atendiendo a la categorización establecida por la REA, en el periodo de estudio el número de días en cada categoría se muestra en la tabla 32.

Año	Categorías			
	Nulo (<1 polen/m ³)	Bajo (1-25 polen/m ³)	Moderado (26-50 polen/m ³)	Alto (>50 polen/m ³)
2009	149	203	2	0
2010	153	171	10	5
2011	149	159	11	9

Tabla 32. Número de días con las concentraciones de polen de Poaceae en cada categoría del grupo 2 de la REA.

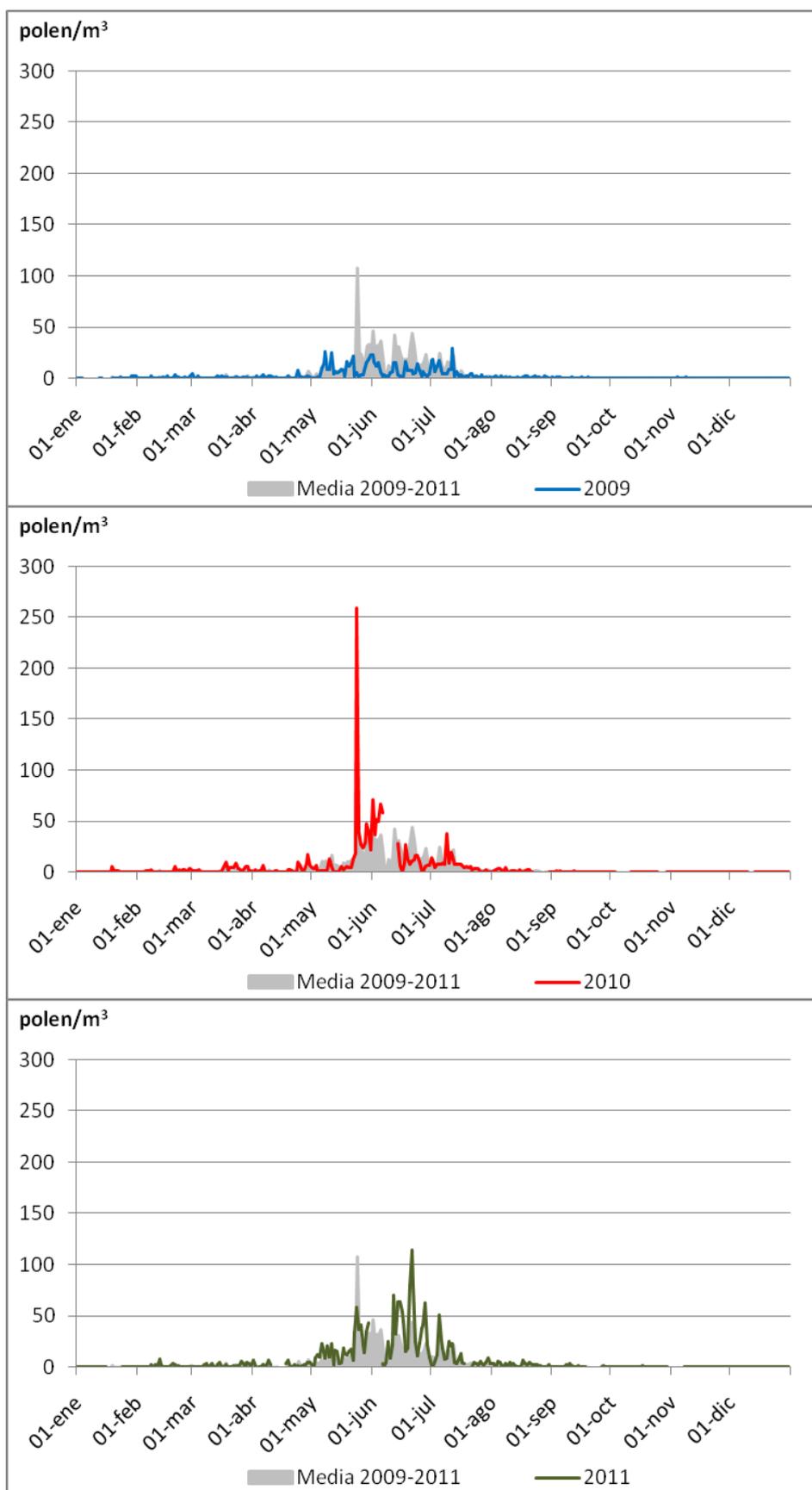


Figura 55. Niveles de polen de Poaceae en la atmósfera de Valladolid durante 2009, 2010 y 2011 y la media del periodo de estudio.

5.2. Alérgenos Lol p 1 y Lol p 5

El periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae fue de tres meses y medio en 2009 y de casi 5 meses en 2010 y 2011.

Se ha registrado un índice alérgico de 10116,1 de la proteína Lol p 1 y de 6428,5 de Lol p 5, con unos índices alérgicos anuales, que se reflejan en la figura 56. El promedio anual de Lol p 1 fue de 3372 y el de Lol p 5 fue de 2142,8.

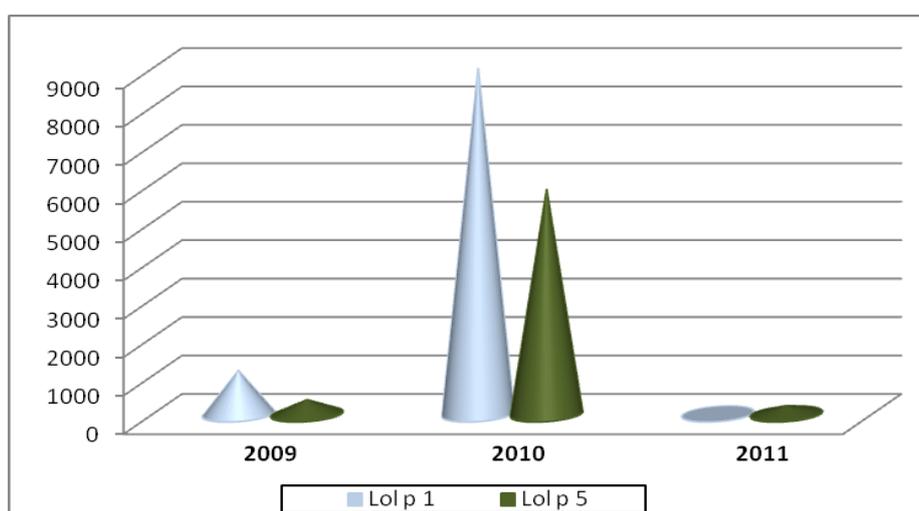


Figura 56. Índices alérgicos anuales de Lol p 1 y Lol p 5 durante el periodo de estudio.

El número de días en que se ha detectado Lol p 1 en la atmósfera de Valladolid fue bajo y similar en 2009 y 2010 (9 y 11 días respectivamente), no habiéndose detectado en 2011. El día pico de cada año se ha presentado en fechas similares (20 y 24 de mayo) (Tabla 33), siendo la cantidad de aeroalérgeno detectada 8 veces mayor en 2010 que en 2009.

Lol p 5 fue detectado un número distinto de días en cada año (46 en 2009, 60 en 2010 y 30 días en 2011). Los días de mayor concentración de este alérgeno se han presentado en los diez días últimos de mayo (Tabla 33), siendo la concentración de aeroalérgeno detectada mucho más elevada en 2010 que en 2009 y 2011, en los que se cuantificaron cantidades similares.

	Año	2009	2010	2011
	Periodo de muestreo	20 mayo-31 agosto	7 abril-31 agosto	1 abril-24 agosto
	Días de estudio	104	147	146
Lol p 1	Días de detección	9	11	0
	IA	1131,40	8984,74	0
	Día pico	20 mayo	24 mayo	-
	Pg/m ³ del día pico	383,28	1743,05	0
Lol p 5	Días de detección	46	60	30
	IA	373	5837,94	217,60
	Día pico	20 mayo	4 junio	25 mayo
	Pg/m ³ del día pico	69,9	901,2	67,6

Tabla 33. Datos de Lol p 1 y Lol p 5 durante el periodo de estudio de aeroalérgenos en Valladolid.

Se observa que los días pico de detección de ambos alérgenos, Lol p 1 y Lol p 5, ocurrieron en el intervalo que va desde el 20 de mayo al 4 de junio, y fueron coincidentes en el año 2009 (Tabla 33). En el año 2009 se observan tres días en los cuales coinciden los picos de ambos alérgenos, dos en la segunda quincena de mayo y el tercero en los primeros días de junio. En el mismo periodo de 2010 también se observan tres picos de ambos alérgenos, si bien el segundo pico de Lol p 1 es menos acusado que el primero y el tercero (Figura 58).

El periodo alergénico principal (PAP) de Lol p 1, tanto en 2009 como en 2010, es de 16 días de duración, del 20 de mayo al 4 de junio. El periodo alergénico principal de Lol p 5 es de 48 días en 2009 y 2010 (del 20 de mayo al 6 de julio) y de 58 días en 2011 (del 10 de mayo al 6 de julio).

5.3. Relación entre polen de Poaceae y Lol p 1 y Lol p 5 e influencia de los parámetros meteorológicos y contaminantes atmosféricos

Durante el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae el índice polínico de gramíneas fue mucho mayor en el periodo de 2011 (1869) que en el periodo de 2010 (1420), y a su vez, mayor que en el periodo de 2009 (570) (Figura 57). Dichas cantidades fueron el 67,9% del polen de Poaceae en 2009, el 92,3% en 2010 y el 94,9% en 2011. En los periodos de estudio de aeroalérgenos el polen de Poaceae supuso el 88,8% del polen de gramíneas de los tres años de estudio.

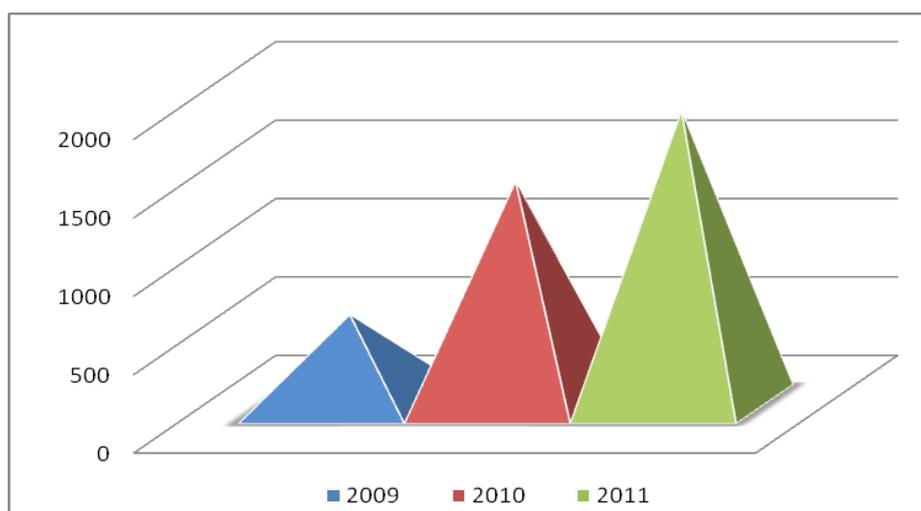


Figura 57. Índices polínicos de Poaceae durante los periodos de estudio de los aeroalérgenos Lol p 1 y Lol p 5.

La casi totalidad de ambos alérgenos se ha detectado en la quincena comprendida entre el 20 de mayo al 4 de junio de los tres años de estudio. En las citadas fechas de 2009 se concentra el 96,5% de la cantidad de Lol p 1, el 71,8% de Lol p 5 y el 23,4% de polen de gramíneas; en el año 2010 se recoge el

95,6% de Lol p 1, el 72,5% de Lol p 5 y el 55,9% de polen y en el año 2011 el 68,3% de Lol p 5 y el 16,4% de polen.

Las mayores concentraciones de Lol p 1 detectadas en la atmósfera en el año 2010 concuerdan con los días de mayores recuentos de polen de gramíneas, como se aprecia en la figura 58, coincidiendo el día 24 de mayo los picos de ambos. Los días de mayor cantidad de granos de polen de 2009 fueron varios, de los cuales algunos coincidieron con los días de máxima concentración del alérgeno Lol p 1.

Durante los años 2009 y 2011, en los que los valores de los índices alérgicos fueron bajos, las concentraciones diarias de Lol p 5 y Lol p 1 no superaron los 80 pg/m³ y 385 pg/m³ respectivamente, coincidiendo con concentraciones diarias de polen de Poaceae por debajo de 120 granos de polen/m³. Por el contrario, en el año 2010, con un índice alérgico muy alto, se detectaron concentraciones diarias de Lol p 5 y Lol p 1 por encima de 800 pg/m³ y de 1700 pg/m³ respectivamente y de polen por encima de 250 granos/m³.

Las correlaciones entre el aeroalérgeno Lol p 1 y el polen de Poaceae son significativas y positivas, con índices bajos, durante los años 2009 y 2010 y el periodo 2009-2011. Durante el año 2011 no hay correlación al no haberse detectado Lol p 1 en la atmósfera.

Las correlaciones entre el aeroalérgeno Lol p 5 y el polen de gramíneas presentan unos coeficientes de correlación significativos y positivos altos en los periodos de estudio de 2009 y 2010 y en el periodo alérgico principal (PAP) de 2010, bajos en 2011 y moderados en el periodo de estudio 2009-2011 (Tabla 34).

	Año		Lol p 1	Lol p 5
Polen de Poaceae	2009	Periodo de estudio	0,44(**)	0,66(**)
		PAP	-0,08	0,18
	2010	Periodo de estudio	0,40(**)	0,78(**)
		PAP	0,13	0,67(**)
	2011	Periodo de estudio	-	0,41(**)
		PAP	-	0,01
	2009-2011	Periodo de estudio	0,28(**)	0,52(**)
		PAP	0,10	0,04

Tabla 34. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de Poaceae y los alérgenos Lol p 1 y Lol p 5, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01).

La ratio alérgeno Lol p 1/polen de Poaceae en el periodo de estudio ha sido de 2,62, siendo muy diferentes las ratios en 2009 (1,98) y en 2010 (6,35). La ratio alérgeno Lol p 5/polen Poaceae en el periodo de estudio ha sido de 1,63, siendo también muy diferentes en cada año de estudio; 0,65 en 2009, 4,12 en 2010 y 0,12 en 2011.

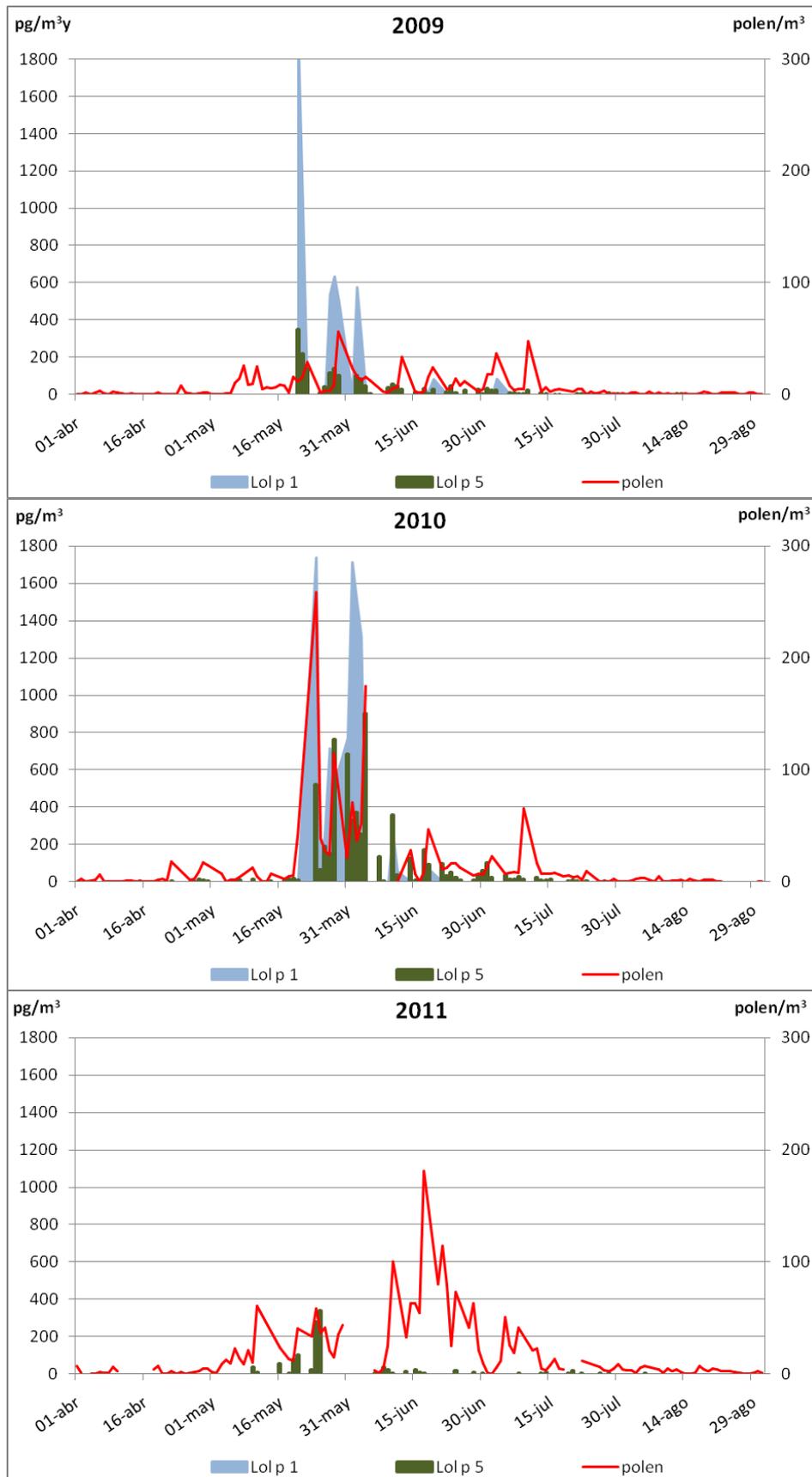


Figura 58. Concentraciones de Lol p 1 y Lol p 5 (x5 en 2009 y 2011) y polen de Poaceae en Valladolid en los tres años de estudio.

La relación estadística entre estos dos alérgenos de gramíneas es significativa y positiva con un índice alto en el PAP de 2009 y en el conjunto de los tres años y con índices moderados en el periodo de estudio de los alérgenos (Tabla 35).

	Año		Lol p 1
Lol p 5	2009	Periodo de estudio	0,51(**)
		PAP	0,81(**)
	2010	Periodo de estudio	0,51(**)
		PAP	0,27
	2011	Periodo de estudio	-
		PAP	-
	2009-2011	Periodo de estudio	0,43(**)
		PAP	0,73(**)

Tabla 35. Coeficientes de correlación de Spearman entre el alérgeno Lol p 1 y el alérgeno Lol p 5, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01).

En relación con los parámetros meteorológicos, los días con mayores concentraciones de alérgenos y de polen de gramíneas de los tres años de estudio se corresponden con registros de temperaturas medias de 20°C, con la excepción de los 354 pg/m³ de Lol p 5 del día 10 de junio de 2010 en que hubo 13,9°C de temperatura media. En este estudio, la temperatura máxima estuvo en torno a 30°C los días de concentraciones más elevadas de ambos alérgenos (Figura 59).

Además, en este trabajo se observa que en el año 2009 los descensos de temperatura media, por debajo de 15°C, coinciden con menores concentraciones de polen y de alérgenos; descensos muy marcados los días 25 y 26 de mayo con registros de 1 y 3 granos de polen/m³ respectivamente, con registros nulos de Lol p 1, y con un registro muy bajo de la concentración de Lol p 5 en comparación con los días previos y posteriores y descensos moderados del 5 al 9 de junio en las concentraciones de polen y de Lol p 5 (Figura 59).

Durante la primera quincena de mayo de 2010 se registran temperaturas medias con valores por debajo de 10°C, con incluso algún día de temperatura mínima próxima a 0°C, coincidiendo con la ausencia de granos de polen y alérgenos, hecho que no ocurre en los otros dos años. Además, el día 25 de mayo se detectaron recuentos considerablemente menores de Lol p 1, Lol p 5 y polen, coincidentes con descensos en la temperatura máxima de 5°C, en la mínima de 2°C y en la media de 3°C (Figura 59).

Los días con concentraciones más elevadas de los dos alérgenos de gramíneas presentaron temperaturas de punto de rocío de unos 10°C, observándose que en el año 2010 un descenso de esta temperatura coincidió con descensos en los recuentos de polen y concentraciones de Lol p 1 y Lol p 5 (Figura 60).

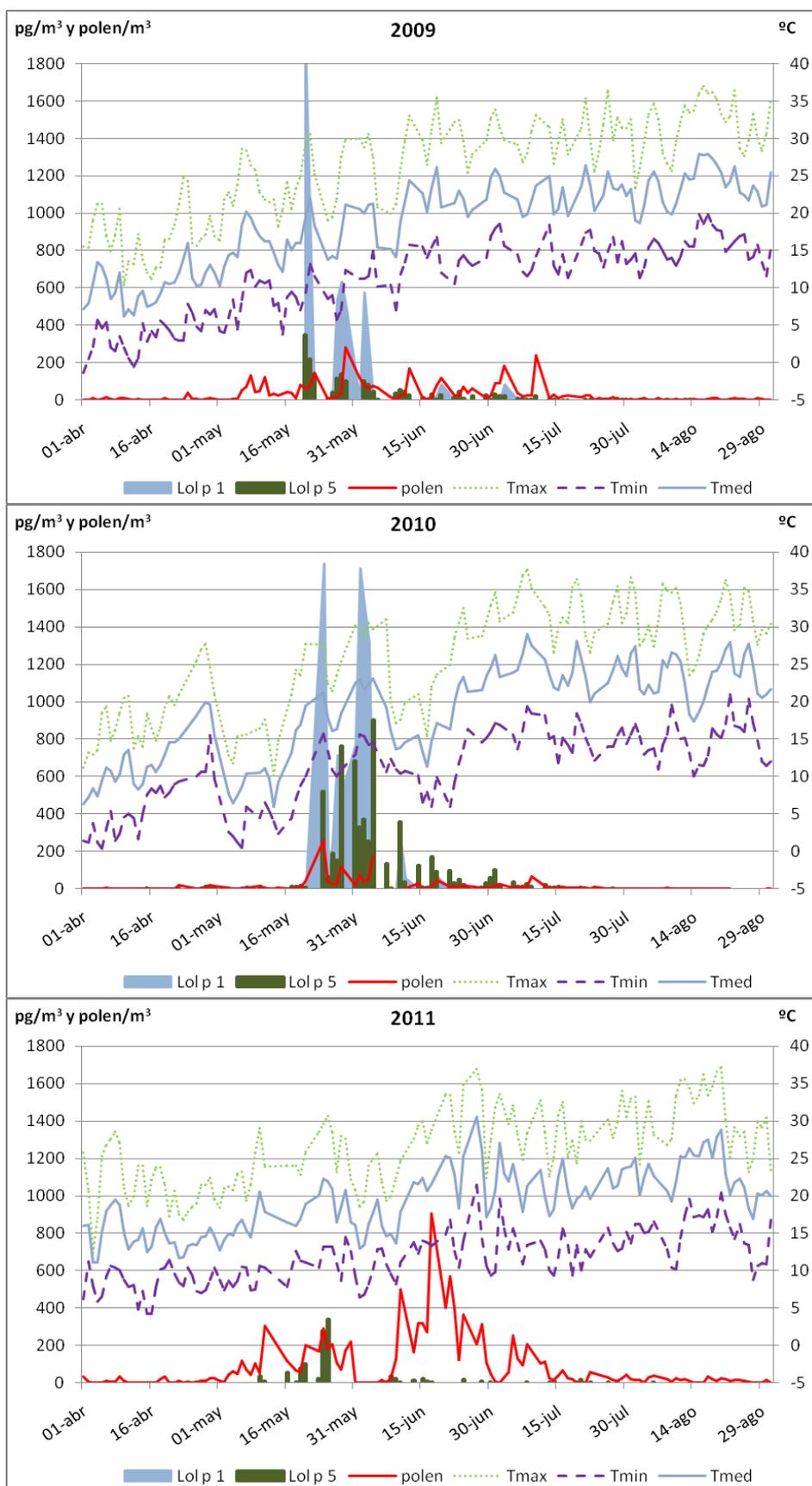


Figura 59. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed) en Valladolid durante el periodo de estudio.

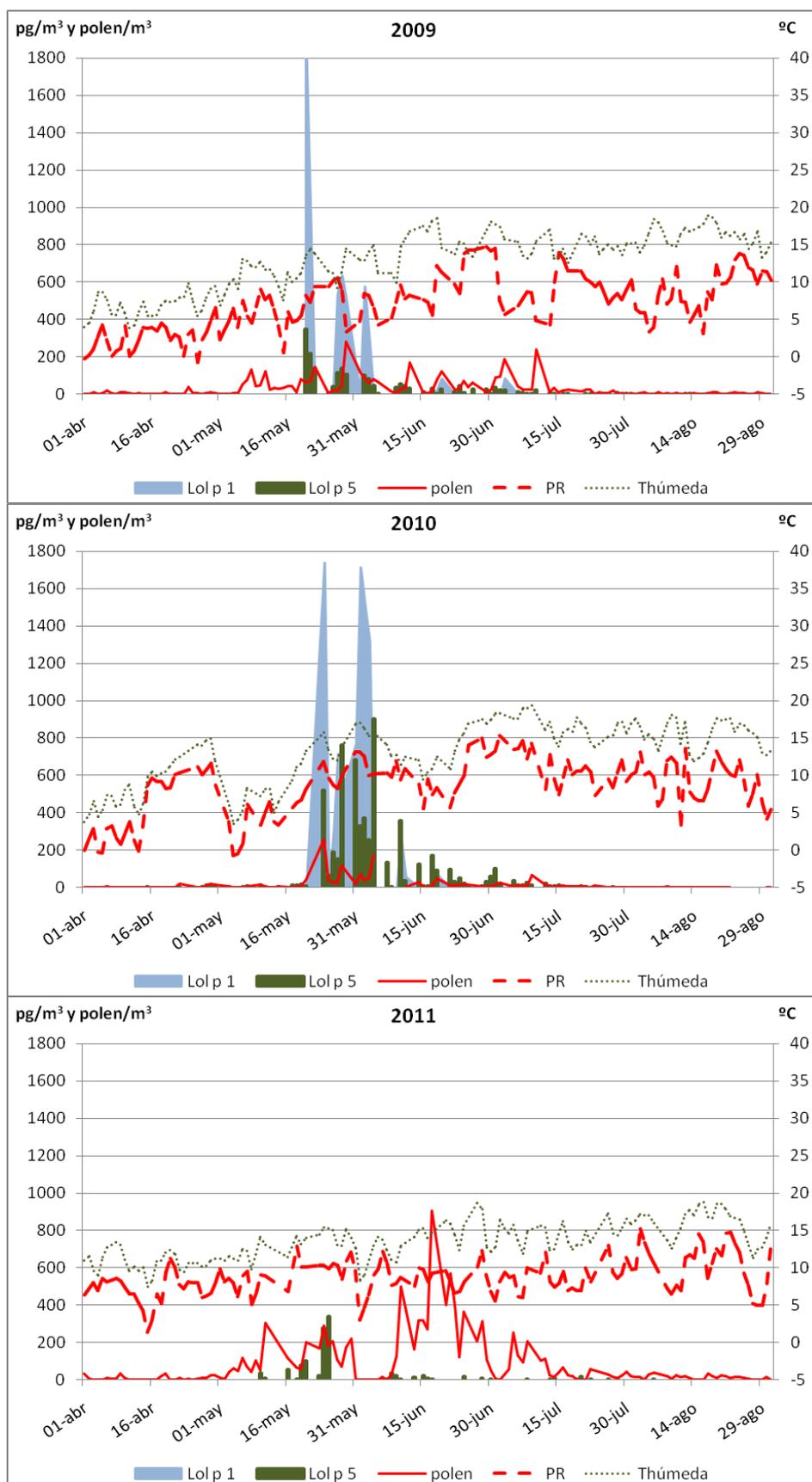


Figura 60. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y temperaturas húmeda (Thúmeda) y de punto de rocío (PR) en Valladolid durante el periodo de estudio.

En cuanto a las precipitaciones indicar que los días 23, 24 y 25 de mayo de 2009 no se detectó Lol p 1 y muy pocos granos de polen de gramíneas, coincidiendo con registros de 11,3 mm, 1,5 mm y 4 mm respectivamente. Lo mismo ocurre en los periodos de lluvias del 4 al 9 y del 13 al 16 de junio del mismo año. Sin embargo, si se detecta Lol p 5 durante esos días de lluvia, aunque en cantidades pequeñas (Figura 61).

En 2010, los días de mayores concentraciones de alérgenos y polen, del 24 de mayo al 3 de junio, no hubo lluvias, en cambio, las abundantes precipitaciones, para la época del año, de 19,2 mm, 5 mm y 13,2 mm los días 9, 10 y 11 de junio respectivamente, parece que no afectaron a la presencia de Lol p 1 y Lol p 5 en la atmósfera de Valladolid (Figura 61).

En 2011 se observa que los 23,7 mm del día 18 de mayo han provocado descensos en la cantidad de polen de gramíneas y en la de Lol p 5, volviendo a ascender ambas los días siguientes ante la ausencia de precipitaciones. Lo mismo ocurre con las lluvias del 6 y 7 de junio (5,1 y 11,8 mm respectivamente), que provocan un valle en la línea de polen de gramíneas, que se recupera los días siguientes llegando a alcanzar las mayores concentraciones del periodo (superando los 100 granos de polen/m³) en tres días, uno de los cuales, el 21 de junio, es el día pico de polen de Poaceae del año 2011.

En relación con la humedad relativa (Figura 61) se observa que en 2009 los días de mayores concentraciones de Lol p 1 registran valores entre el 40 y el 50%. Sin embargo, en 2010, se detecta Lol p 1 del 24 de mayo al 3 de junio y los días 10 y 11 de junio, con humedad del 60%, siendo llamativo que los días 4 y 5 de junio, con humedad del 40%, no se detecta.

El alérgeno Lol p 5 se ha detectado, durante los tres años, con humedades relativas en torno al 60%, disminuyendo la cantidad del mismo, al bajar la humedad relativa al 40%. Durante la primera semana de junio de 2011 no hubo Lol p 5 cuando la humedad relativa estaba en torno al 80% (Figura 61).

En general, los días de máximas concentraciones de Lol p 1 y Lol p 5 coinciden con evaporaciones por encima de 6 mm, salvo en sendos picos de los dos alérgenos a principios de junio de 2009 con evaporaciones por debajo de 4 mm (Figura 62).

En relación con la insolación (Figura 62) se observa, en general, que en el periodo de estudio los picos de Lol p 1 coinciden con picos de 12 horas de insolación diaria. En 2009, se aprecia que del 8 al 12 de mayo, periodo previo al periodo de mayores concentraciones de alérgenos y polen la insolación no supera las 8 horas, coincidiendo con escasas lluvias. Lo mismo ocurre en 2010 a mediados de mayo. Pero en ambos años, los 7 u 8 días previos a los picos de Lol p 1 y Lol p 5 se registran más de 12 horas de insolación diaria. El 18 de mayo de 2011 hay un descenso en las horas de insolación hasta 4,8 horas, coincidente con un descenso en la evaporación, motivado por las lluvias, lo que coincide con una disminución de las concentraciones de polen y de Lol p 5.

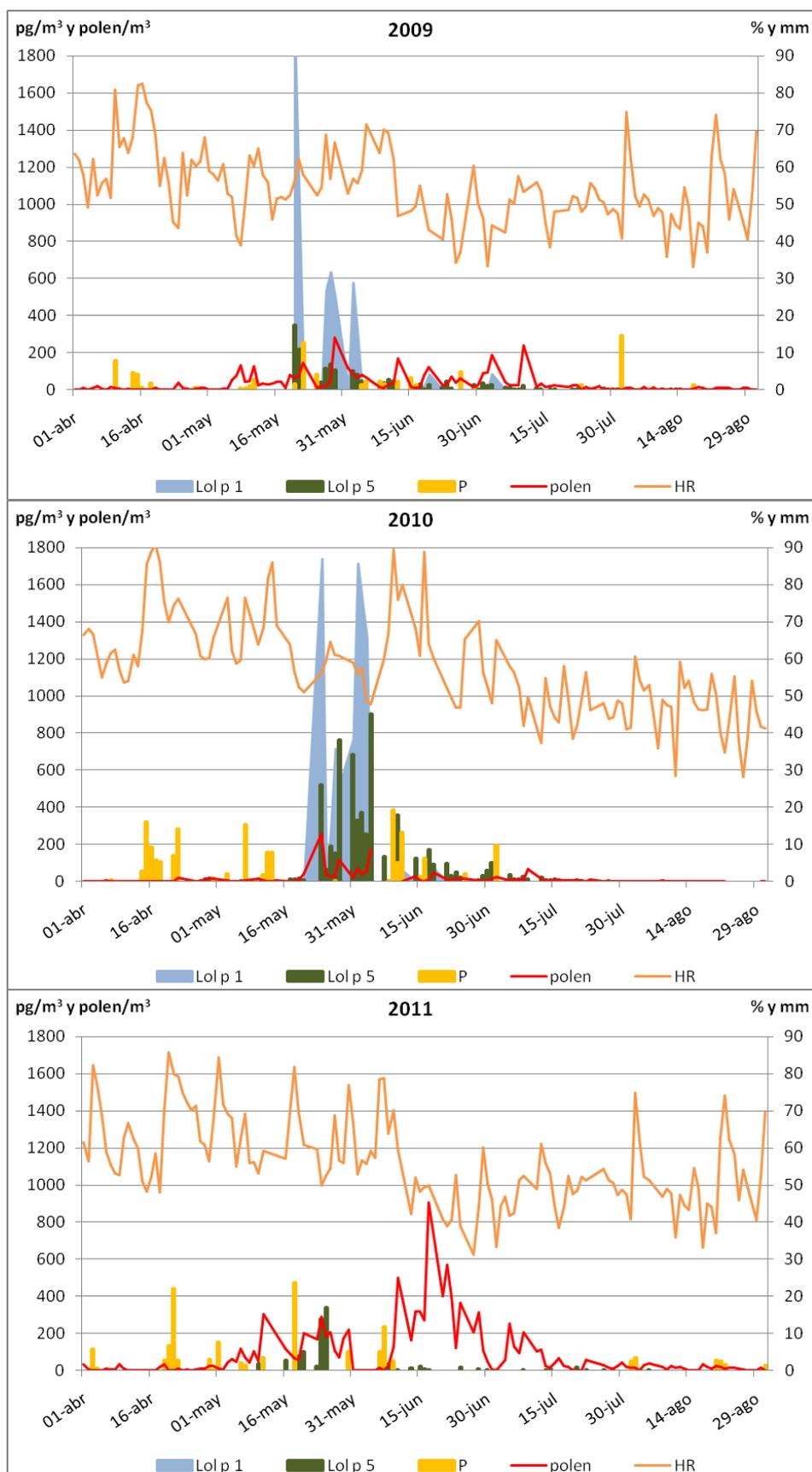


Figura 61. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y precipitaciones (P) y humedad relativa (HR) en Valladolid durante el periodo de estudio.

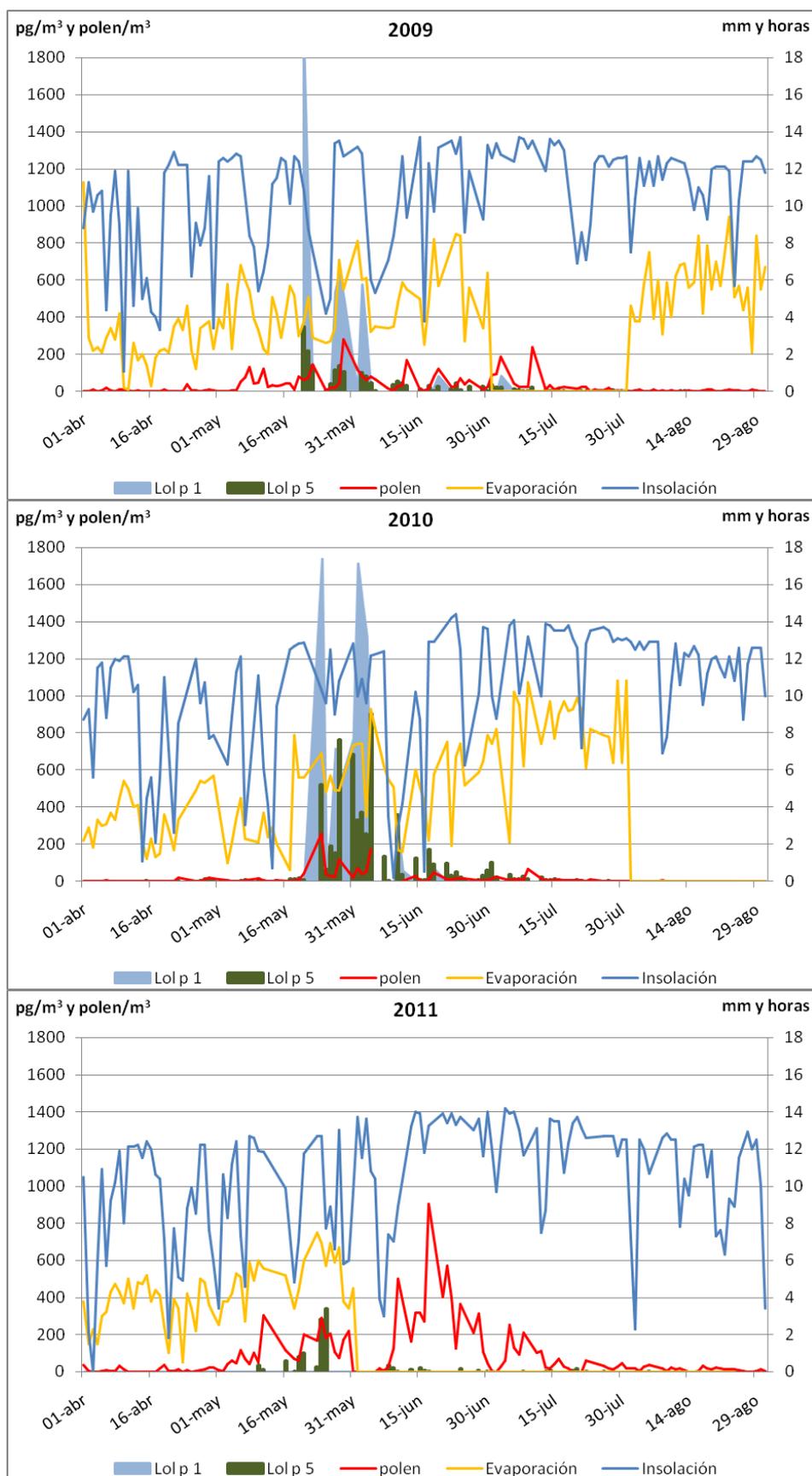


Figura 62. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y evaporación e insolación en Valladolid durante el periodo de estudio.

El viento sopló a una velocidad en torno a los 8 km/hora durante los días de mayores concentraciones de polen y de alérgenos. Pero, el día 25 de mayo de 2009 el viento sopló del suroeste durante más de 12 horas a 7,9 km/hora y sólo se registró un grano de polen/ m^3 , no se detectó Lol p 1 y una cantidad más baja de Lol p 5 comparado con los días previos y posteriores en los que el viento del suroeste no fue predominante o casi no sopló desde esa dirección (Figura 63).

Por otro lado, el viento procedente del suroeste, durante casi 20 horas, el día 25 de mayo de 2010, a una velocidad de 12 km/hora, coincidió con un drástico descenso en el recuento de polen (39 granos de polen/ m^3), la no detección de Lol p 1 y una bajada considerable en los registros de Lol p 5 (64 pg/ m^3). Las concentraciones de ambos alérgenos aumentaron los días siguientes con velocidades del viento inferiores, de 7 km/hora.

Las radiaciones de 30 MJ/ m^2 durante los tres años coinciden con los días de mayores recuentos de polen. Asimismo, la radiación solar en los días de máximas concentraciones de alérgenos en 2009 y 2010 ha sido de 30 MJ/ m^2 , siendo más baja, de 24 MJ/ m^2 , los días de mayor concentración de Lol p 5 en 2011 (Figura 64).

En cuanto al ozono (Figura 64) se observa que en el año 2010 los picos de Lol p 1 se corresponden el primero de ellos, con una concentración elevada de ozono y el segundo con concentraciones bajas de ozono. También puede observarse que el día de mayor concentración de ozono del periodo de estudio, con 91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (1 de junio de 2009) no hay Lol p 5. También el mayor descenso en las concentraciones de ozono, desde 113 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 20 mayo a 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ el 1 junio de 2010 coincide con las mayores concentraciones de Lol p 5.

En relación con el material particulado de la atmósfera (Figura 65), en líneas generales, los picos de polen y los picos de alérgenos coinciden con picos de PM_{2,5} y PM₁₀. En 2009, los dos días con mayor detección de proteínas, tanto de Lol p 1 como de Lol p 5, el 20 y 21 de mayo, los cuales concentran la mitad de proteínas del periodo de estudio del aeroalérgeno Lol p 1, fueron los dos días con mayor concentración de material particulado PM₁₀ del periodo de estudio (40 y 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente), cantidades que fueron el doble de la media de este periodo (18,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En la figura 66 se ve el paralelismo entre las curvas de monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno. Generalmente, los picos de polen y de alérgenos de gramíneas son coincidentes con los picos de óxidos de nitrógeno (NO_x) en el año 2009 y 2011, no así en 2010. En el año 2009 en los días pico de alérgenos se registran concentraciones altas de monóxido de nitrógeno y de dióxido de nitrógeno, 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, más del doble de las registradas los días de mayores concentraciones de alérgenos de 2010 y 2011.

Si se analiza la relación entre el polen y los alérgenos de gramíneas con el monóxido de carbono y el dióxido de azufre no se puede señalar ninguna correspondencia entre ellos (Figura 67).

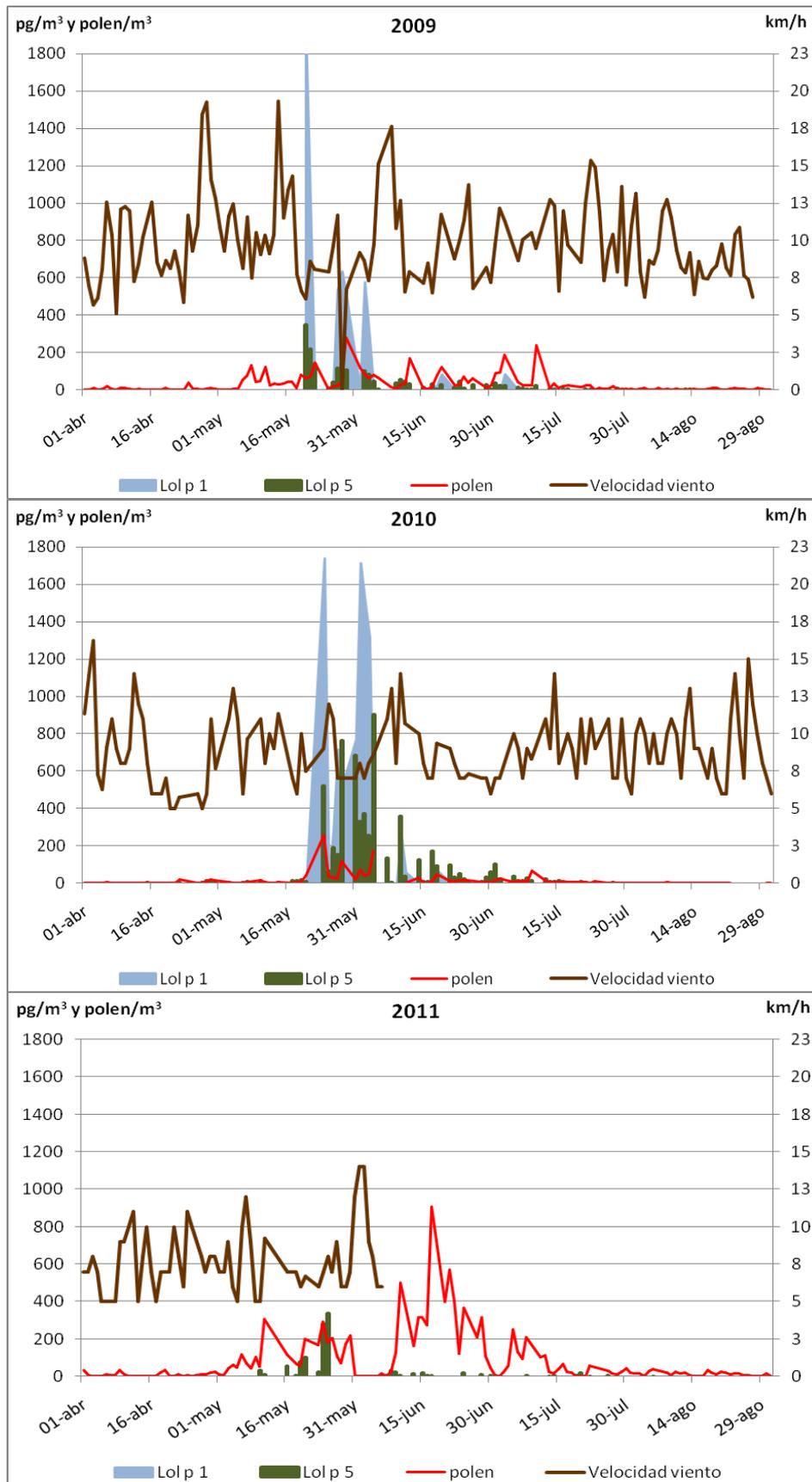


Figura 63. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y velocidad del viento en Valladolid durante el periodo de estudio.

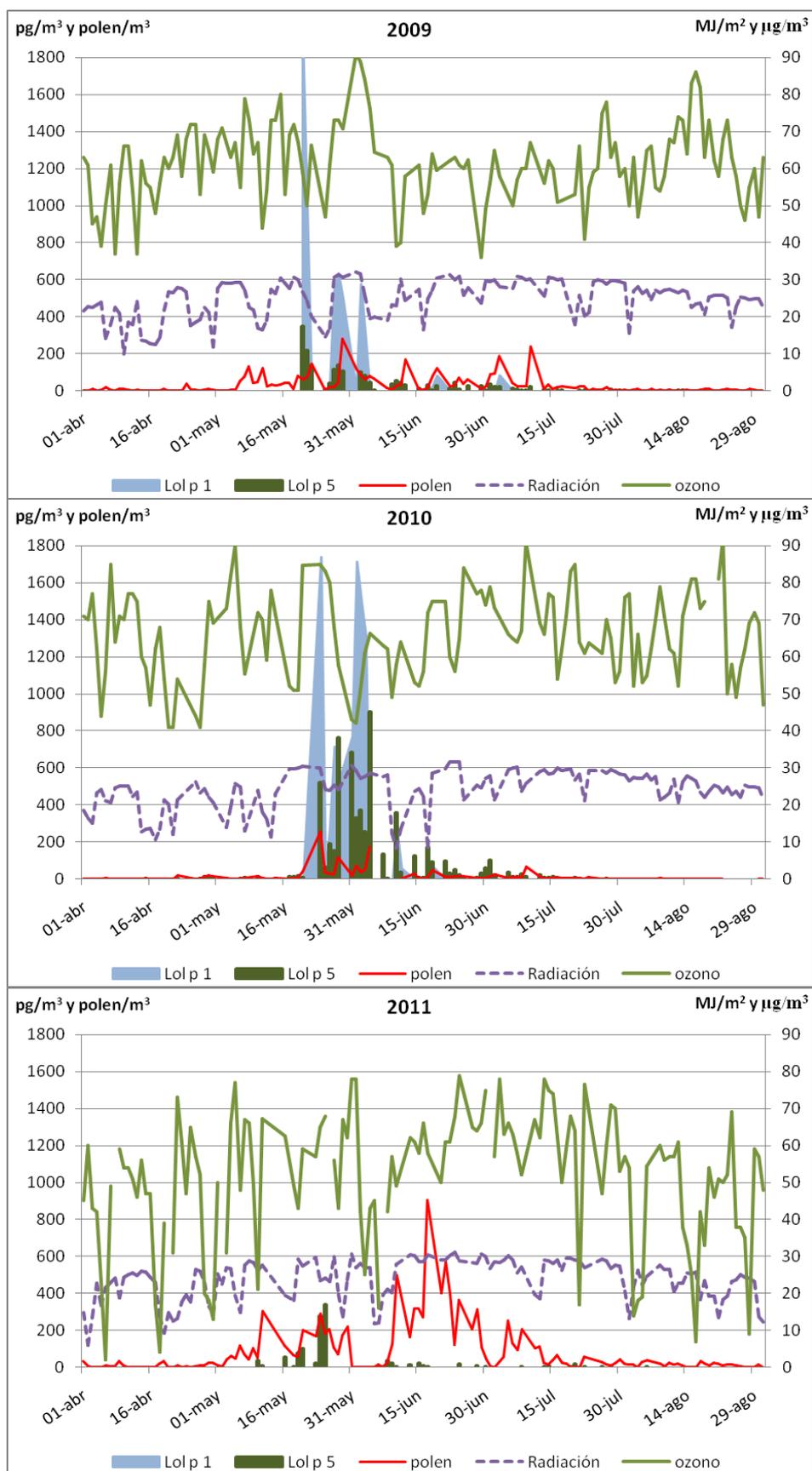


Figura 64. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011), radiación solar y ozono en Valladolid durante el periodo de estudio.

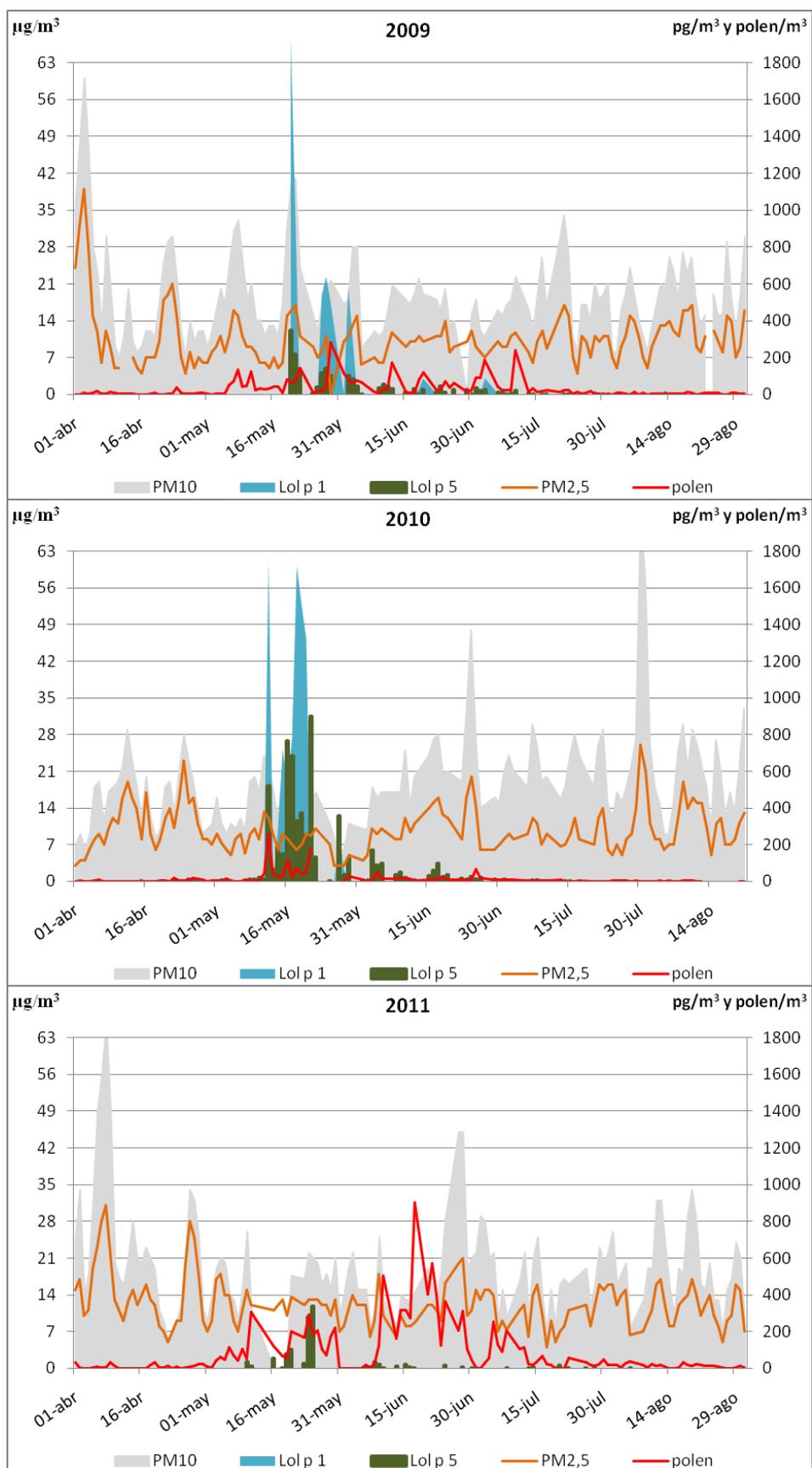


Figura 65. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5, polen de Poaceae ($\times 5$ en 2009 y 2011), PM10 y PM2,5 en Valladolid durante el periodo de estudio.

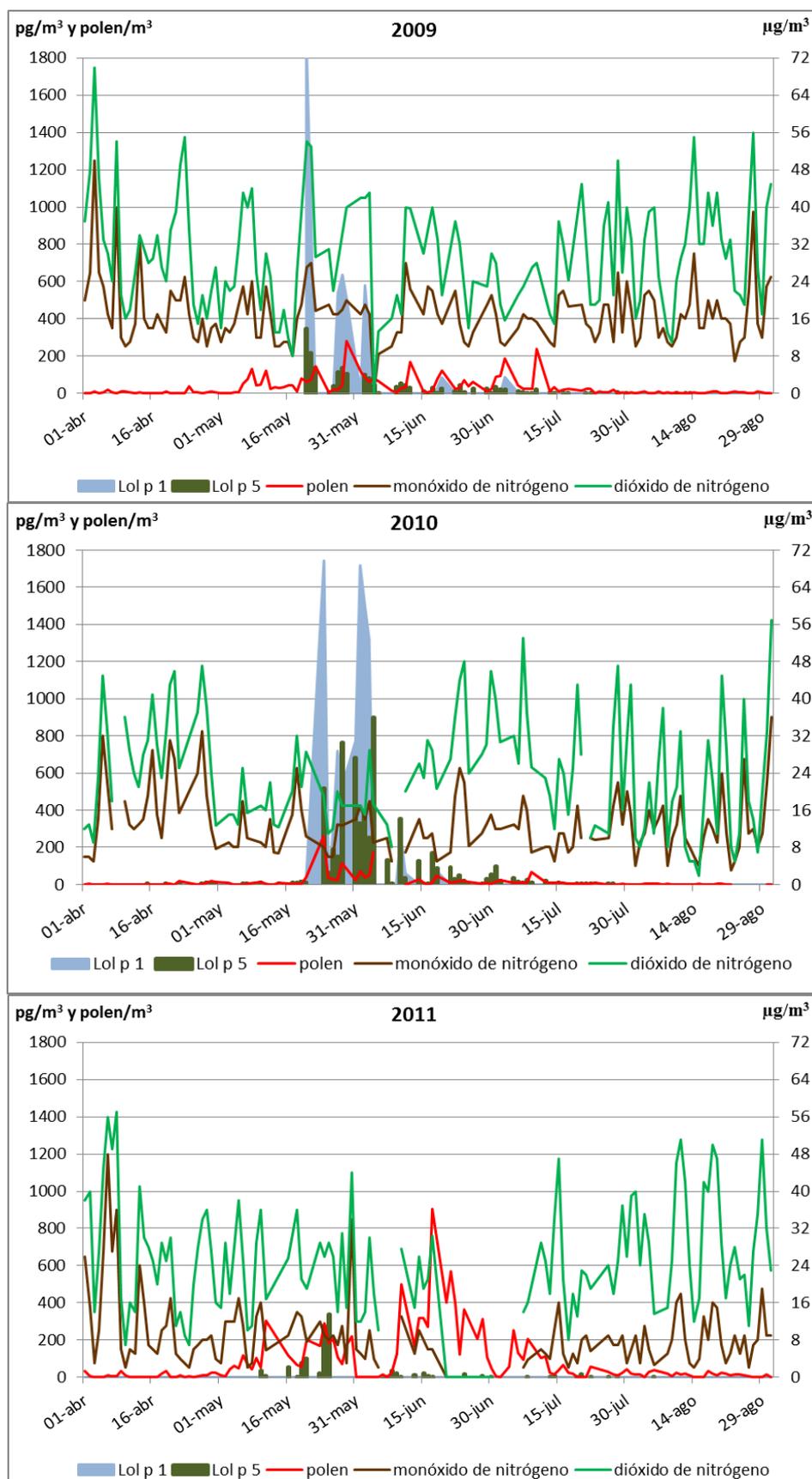


Figura 66. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5, polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011), monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno en Valladolid durante el periodo de estudio.

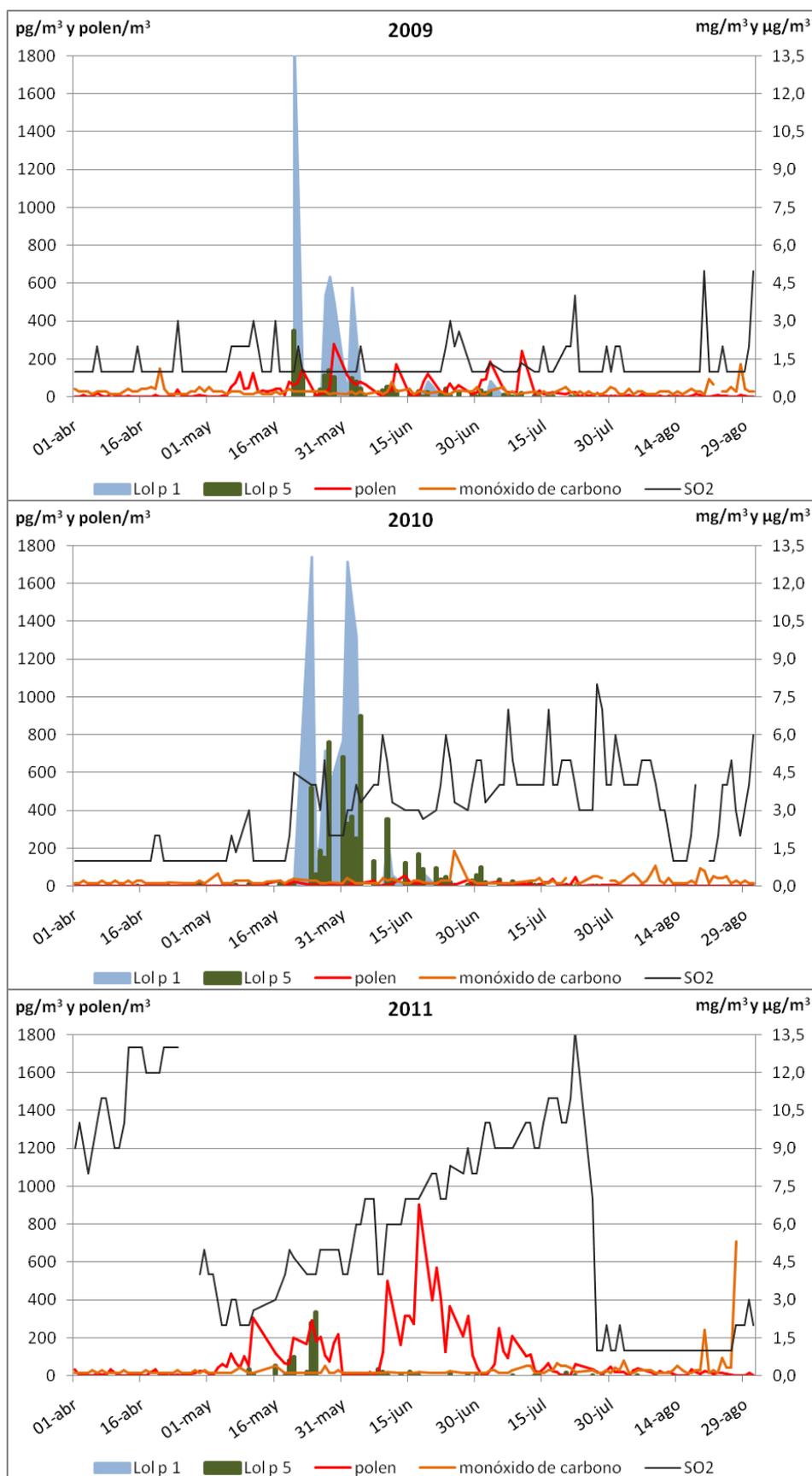


Figura 67. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 , polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011), monóxido de carbono y dióxido de azufre en Valladolid durante el periodo de estudio.

Los análisis estadísticos para comprobar si existen correlaciones entre el polen de gramíneas con los parámetros meteorológicos y los contaminantes atmosféricos se han realizado teniendo en cuenta el año completo y el periodo polínico principal (PPP) (Tabla 36).

		2009	2010	2011	2009-2011
Tmax	Año	0,49(**)	0,53(**)	0,59(**)	0,54(**)
	PPP	0,38(**)	0,56(**)	0,39(**)	0,42(**)
Tmin	Año	0,40(**)	0,48(**)	0,57(**)	0,48(**)
	PPP	0,38(**)	0,55(**)	0,33(**)	0,41(**)
Tmed	Año	0,47(**)	0,52(**)	0,59(**)	0,53(**)
	PPP	0,39(**)	0,56(**)	0,38(**)	0,43(**)
THúmeda	Año	0,41(**)	0,52(**)	0,61(**)	0,51(**)
	PPP	0,38(**)	0,58(**)	0,38(**)	0,44(**)
PR	Año	0,22(**)	0,48(**)	0,54(**)	0,41(**)
	PPP	0,36(**)	0,52(**)	0,23(**)	0,40(**)
HR	Año	-0,50(**)	-0,43(**)	-0,51(**)	-0,47(**)
	PPP	-0,32(**)	-0,37(**)	-0,35(**)	-0,26(**)
P	Año	-0,12(*)	-0,15(**)	-0,07	-0,11(**)
	PPP	0,05	-0,28(**)	-0,19(*)	-0,12(**)
Evaporación	Año	0,37(**)	0,59(**)	0,44(**)	0,48(**)
	PPP	0,27(**)	0,41(**)	0,66(**)	0,44(**)
Insolación	Año	0,44(**)	0,46(**)	0,52(**)	0,47(**)
	PPP	0,21(**)	0,35(**)	0,39(**)	0,30(**)
Radiación	Año	0,59(**)	0,59(**)	0,68(**)	0,61(**)
	PPP	0,42(**)	0,47(**)	0,46(**)	0,43(**)
Velocidad	Año	0,11(*)	0,06	0,34(**)	0,16(**)
	PPP	0,13	-0,08	-0,12	-0,01
FR1C	Año	-0,04	0,03	0,08	0,01
	PPP	-0,27(**)	-0,16	-0,14	-0,17(**)
FR2C	Año	0,004	0,01	0,07	0,02
	PPP	0,22(**)	0,08	0,06	0,18(**)
FR3C	Año	0,03	0,009	0,04	0,03
	PPP	0,29(**)	0,17(*)	0,29(*)	0,22(**)
FR4C	Año	0,23(**)	0,02	0,01	0,09(**)
	PPP	0,05	0,19(*)	0,28(*)	0,09
FRCALMA	Año	-0,04	-0,07	-0,18(**)	-0,09(**)
	PPP	0,08	-0,001	0,28(*)	0,09

Tabla 36. Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Poaceae y los parámetros meteorológicos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

El polen de gramíneas tiene índices de correlación significativos y positivos, con un nivel de significación del 99%, con todas las variables de temperatura, la evaporación, la insolación y la radiación (obteniéndose con este

último parámetro los índices más altos), y negativos con la humedad relativa con unos coeficientes moderados, si consideramos todos los años del estudio y el conjunto 2009-2011. En todos los casos son más elevados en el periodo anual que en el PPP correspondiente (Tabla 36).

Si se tienen en cuenta las variables relacionadas con el viento señalar que se encuentran índices significativos, positivos y bajos con el viento procedente del suroeste cuando se considera los PPP.

Más baja puede considerarse la relación negativa del polen de gramíneas con las precipitaciones y la relación positiva con la velocidad del viento, cuyo coeficiente de correlación más elevado se obtuvo con datos del 2011 (0,34**). Es de destacar la falta o muy baja correlación con los periodos de calma.

El análisis estadístico del polen con los contaminantes revela que la mitad de los coeficientes de correlación son significativos y de éstos la mayoría son bajos. El polen de Poaceae tiene índices negativos bajos con los óxidos de nitrógeno considerando los años y el conjunto de los tres años (Tabla 37).

El polen de gramíneas se correlaciona con el dióxido de azufre con bajos coeficientes y de distinto signo. Los índices más altos se obtienen entre el dióxido de azufre y el ozono con el polen en el PPP y el 2010 respectivamente.

		2009	2010	2011	2009-2011
PM10	Año	0,04	0,06	0,01	0,04
	PPP	0,02	0,10	0,07	0,04
PM2,5	Año	-0,02	-0,19(**)	-0,21(**)	-0,12(**)
	PPP	-0,04	0,006	0,04	0,02
NO	Año	-0,20(**)	-0,38(**)	-0,48(**)	-0,37(**)
	PPP	-0,08	-0,13	0,007	-0,18(**)
NO ₂	Año	-0,23(**)	-0,25(**)	-0,19(**)	-0,23(**)
	PPP	-0,15(*)	-0,05	-0,04	-0,14(**)
CO	Año	-0,17(**)	0,02	0,13(*)	-0,03
	PPP	-0,20(**)	0,05	-0,03	-0,14(**)
SO ₂	Año	-0,14(**)	0,22(**)	0,31(**)	0,13(**)
	PPP	0,04	0,49(**)	-0,01	0,35(**)
O ₃	Año	0,45(**)	0,49(**)	0,04	0,31(**)
	PPP	0,26(**)	0,10	0,17	0,10(*)
C ₆ H ₆	Año	-0,06	.	-0,10	-0,06(*)
	PPP	-0,14	.	.	-0,12(*)

Tabla 37 Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Poaceae y los contaminantes atmosféricos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

El polen de gramíneas no presenta ninguna correlación con el material particulado PM10 ni con el benceno.

Para el análisis de correlación entre los alérgenos de gramíneas con las variables meteorológicas y contaminantes se han considerado el periodo de estudio de los alérgenos y los periodos alergénicos principales (PAP). Los resultados reflejan que en el conjunto del análisis sólo el 15% de los coeficientes son significativos (Tablas 38 y 39).

		2009		2010		2011		2009-2011	
		Lol p 1	Lol p 5	Lol p 1	Lol p 5	Lol p 1	Lol p 5	Lol p 1	Lol p 5
Tmax	Periodo estudio	-0,10	-0,25(*)	-0,07	0,03	.	0,08	-0,01	0,01
	PAP	0,44	-0,01	0,43	0,09	.	-0,04	0,35(*)	0,05
Tmin	Periodo estudio	-0,29(**)	-0,38(**)	0,02	0,04	.	0,09	-0,03	-0,01
	PAP	-0,10	-0,30	0,61(*)	0,05	.	-0,07	0,25	-0,02
Tmed	Periodo estudio	-0,22(*)	-0,32(**)	-0,05	0,02	.	0,09	-0,04	-0,00
	PAP	0,17	-0,16	0,31	0,11	.	-0,08	0,32	0,02
THúmeda	Periodo estudio	-0,23(*)	-0,24(*)	0,01	0,12	.	0,11	-0,01	0,05
	PAP	0,05	-0,20	0,54	0,01	.	-0,00	0,29	0,07
PR	Periodo estudio	-0,05	-0,06	0,15	0,26(**)	.	0,12	0,07	0,14(**)
	PAP	-0,07	-0,00	0,62(*)	-0,06	.	0,17	0,19	0,18(*)
HR	Periodo estudio	0,19	0,24(*)	0,16	0,16	.	-0,03	0,11(*)	0,09
	PAP	0,38	0,47(**)	-0,08	-0,27	.	0,23	0,16	0,24(*)
P	Periodo estudio	-0,07	0,19	0,04	-0,02	.	-0,03	-0,004	0,02
	PAP	-0,29	-0,10	0,00	-0,46(**)	.	0,09	-0,07	-0,04
Evaporación	Periodo estudio	0,15	-0,07	0,12	0,54(**)	.	-0,01	0,19(**)	0,35(**)
	PAP	0,39	0,07	0,22	0,13	.	0,35(*)	0,28	0,52(**)
Insolación	Periodo estudio	0,09	0,10	-0,12	0,08	.	0,11	-0,01	0,11(*)
	PAP	0,52	0,04	-0,30	0,18	.	-0,21	0,10	-0,04
Radiación	Periodo estudio	0,24(*)	0,21	0,08	0,30(**)	.	0,26(**)	0,13(*)	0,26(**)
	PAP	0,44	0,09	0,31	0,08	.	-0,20	0,31	-0,04
Velocidad	Periodo estudio	-0,14	-0,08	-0,00	-0,09	.	-0,19	-0,00	-0,03
	PAP	-0,43	-0,34(*)	-0,23	0,05	.	-0,30	-0,16	-0,10
FR1C	Periodo estudio	0,22(*)	0,06	-0,07	-0,12	.	0,01	0,01	-0,05
	PAP	0,16	0,26	0,33	0,01	.	-0,41	-0,13	0,03
FR2C	Periodo estudio	-0,03	0,12	-0,11	0,00	.	0,05	-0,10	-0,00
	PAP	-0,19	0,11	-0,06	-0,12	.	0,18	-0,13	-0,14
FR3C	Periodo estudio	-0,19	-0,07	0,06	0,10	.	0,01	-0,01	0,06
	PAP	-0,25	-0,32	-0,48	-0,02	.	0,25	-0,01	-0,09
FR4C	Periodo estudio	-0,06	-0,05	0,15	0,21(*)	.	0,22	0,07	0,14(*)
	PAP	0,03	0,08	0,01	0,28	.	0,56(**)	0,34(*)	0,21(*)
FRCALMA	Periodo estudio	0,05	0,03	-0,09	-0,05	.	-0,02	-0,04	-0,04
	PAP	0,13	0,07	-0,36	-0,07	.	0,07	0,02	-0,05

Tabla 38. Coeficientes de correlación de Spearman entre Lol p 1 y Lol p 5 y los parámetros meteorológicos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

Las correlaciones estadísticas de los alérgenos con las variables meteorológicas fueron en general, bajas; aunque destacan por presentar coeficientes moderados y positivos, la relación entre el alérgeno Lol p 1 con la temperatura mínima y la temperatura de punto de rocío en el PAP de 2010 y la relación positiva de Lol p 5 con la evaporación en el periodo de estudio de 2010 y en el PAP del periodo 2009-2011, con la humedad relativa del PAP de 2009 y con la dirección del viento procedente del noroeste en el PAP de 2011. Lol p 1 tiene índices negativos y bajos con las temperaturas mínima, media y húmeda cuando consideramos el periodo de estudio de 2009. Lol p 5 tiene relación negativa baja con las lluvias en el PAP de 2010, las temperaturas mínima, media y húmeda en el periodo de estudio de 2009 y la velocidad del viento en el PAP de 2009. En general, hay bajos índices de correlación positivos de ambos alérgenos con la radiación en los periodos de estudio.

Los índices de correlación entre los dos alérgenos de Poaceae estudiados y los contaminantes atmosféricos son generalmente bajos y discordantes (Tabla 39). Hay que resaltar los coeficientes de correlación entre Lol p 1 y los óxidos de nitrógeno en el PAP de 2009. El dióxido de nitrógeno se relaciona con Lol p 5 con índices bajos de distinto signo en los PAP de 2009 y 2010. Se observa una relación positiva con índices bajos entre el monóxido de nitrógeno y ambos alérgenos, tanto en el periodo de estudio como en el PAP de 2009-2011. Existe una correlación significativa moderada y negativa entre Lol p 5 y el dióxido de azufre en el PAP de 2011 y una correlación baja y negativa de ambos alérgenos en el PAP del periodo 2009-2011.

		2009		2010		2011		2009-2011	
		Lol p 1	Lol p 5	Lol p 1	Lol p 5	Lol p 1	Lol p 5	Lol p 1	Lol p 5
PM10	Periodo estudio	0,23(*)	0,11	-0,16	-0,07	.	-0,23(*)	0,00	-0,06
	PAP	0,49	0,45(**)	0,21	0,01	.	-0,16	0,07	0,08
PM2,5	Periodo estudio	0,12	0,01	-0,21(*)	-0,10	.	-0,15	-0,11(*)	-0,16(**)
	PAP	0,54	0,28	-0,20	-0,04	.	0,00	-0,31	-0,17
NO	Periodo estudio	0,15	0,15	-0,04	0,00	.	-0,01	0,12(*)	0,14(*)
	PAP	0,66(*)	0,33	0,55	0,16	.	0,35(*)	0,41(*)	0,34(**)
NO ₂	Periodo estudio	0,21(*)	0,03	-0,13	0,13	.	-0,08	0,02	0,05
	PAP	0,65(*)	0,36(*)	0,13	-0,38(*)	.	0,33	0,07	0,26(**)
CO	Periodo estudio	-0,02	-0,08	0,01	-0,06	.	-0,02	0,05	0,01
	PAP	0,00	-0,04	0,20	-0,24	.	0,02	0,18	0,17
SO ₂	Periodo estudio	-0,03	-0,04	0,06	0,23(*)	.	-0,03	-0,07	-0,02
	PAP	0,06	-0,02	-0,18	-0,26	.	-0,48(**)	-0,35(*)	-0,39(**)
O ₃	Periodo estudio	0,17	-0,02	-0,09	0,00	.	0,23(*)	0,07	0,17(**)
	PAP	-0,14	0,16	-0,36	-0,10	.	-0,07	-0,00	0,18
C ₆ H ₆	Periodo estudio	0,04	-0,15	.	.	.	-0,07	0,03	-0,01
	PAP	.	-0,12	.	.	.	0,04	.	0,18

Tabla 39. Coeficientes de correlación de Spearman entre Lol p 1 y Lol p 5 y los contaminantes atmosféricos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

6. Análisis del tipo polínico Urticaceae

Se analizan en este apartado los resultados de polen de Urticaceae, del alérgeno mayor Par j 1-Par j 2, la relación entre ellos y la influencia que han podido tener los parámetros meteorológicos y los contaminantes en las concentraciones de polen y alérgeno.

6.1. Polen de Urticaceae

Durante el periodo de estudio el índice polínico de Urticaceae ha sido de 1659 (444 en 2009, 483 en 2010 y 732 en 2011), con un promedio anual de 553. Este tipo polínico ocupa el octavo lugar en 2009 y el sexto en 2010 y 2011 entre los tipos más abundantes en Valladolid, lo cual ha supuesto el 2,2% en 2009 y el 3,3% en 2010 y 2011 del polen total contabilizado en esta localidad (Tabla 40).

Urticaceae	2009	2010	2011
IPA	444	483	732
PPP	2 abril-19 septiembre	19 marzo-29 agosto	1 abril-26 agosto
Nº de días del PPP	171	157	148
IP del PPP	421	458	695
Porcentaje sobre polen total	2,2%	3,3%	3,3%
Día pico de polen	1 y 3 mayo	26 abril	30 julio
Polen/m ³ del día pico	13	34	22

Tabla 40. Datos de polen de Urticaceae en Valladolid durante los tres años de estudio.

El periodo polínico principal de Urticaceae abarca desde el mes de abril hasta el mes de septiembre, siendo más prolongado en 2009 (Tabla 40). En el año 2009 este tipo polínico apareció en la atmósfera a mediados de marzo y permaneció de forma continua hasta finales de septiembre, reflejando un comportamiento similar al de la media de los tres años, apreciándose sólo diferencias referidas al momento en el que se detectan los valores más elevados. En el año 2010 la distribución del polen también sigue la media, aunque se observa una pequeña cantidad de polen a finales de febrero y durante los primeros días de marzo, y también existe una notable diferencia en la concentración del día pico en comparación con la media de los tres años. Finalmente, en el año 2011 se observa un periodo de aparición en la atmósfera muy similar al resto de los años, pero las concentraciones diarias son mayores que las correspondientes a la media del periodo 2009-2011.

De forma general, se puede decir que el polen de las plantas que engloba este tipo polínico aparece en la atmósfera de Valladolid durante casi todo el año. Entre los meses de febrero a octubre su presencia es continua aunque las concentraciones varían mucho de uno días a otros. En enero, noviembre y diciembre aparece de forma puntual (Figura 68).

Los días pico de este polen tienen lugar en meses distintos, con un valor máximo diario de 34 granos de polen/m³ el día 26 de abril de 2010 (Tabla 40).

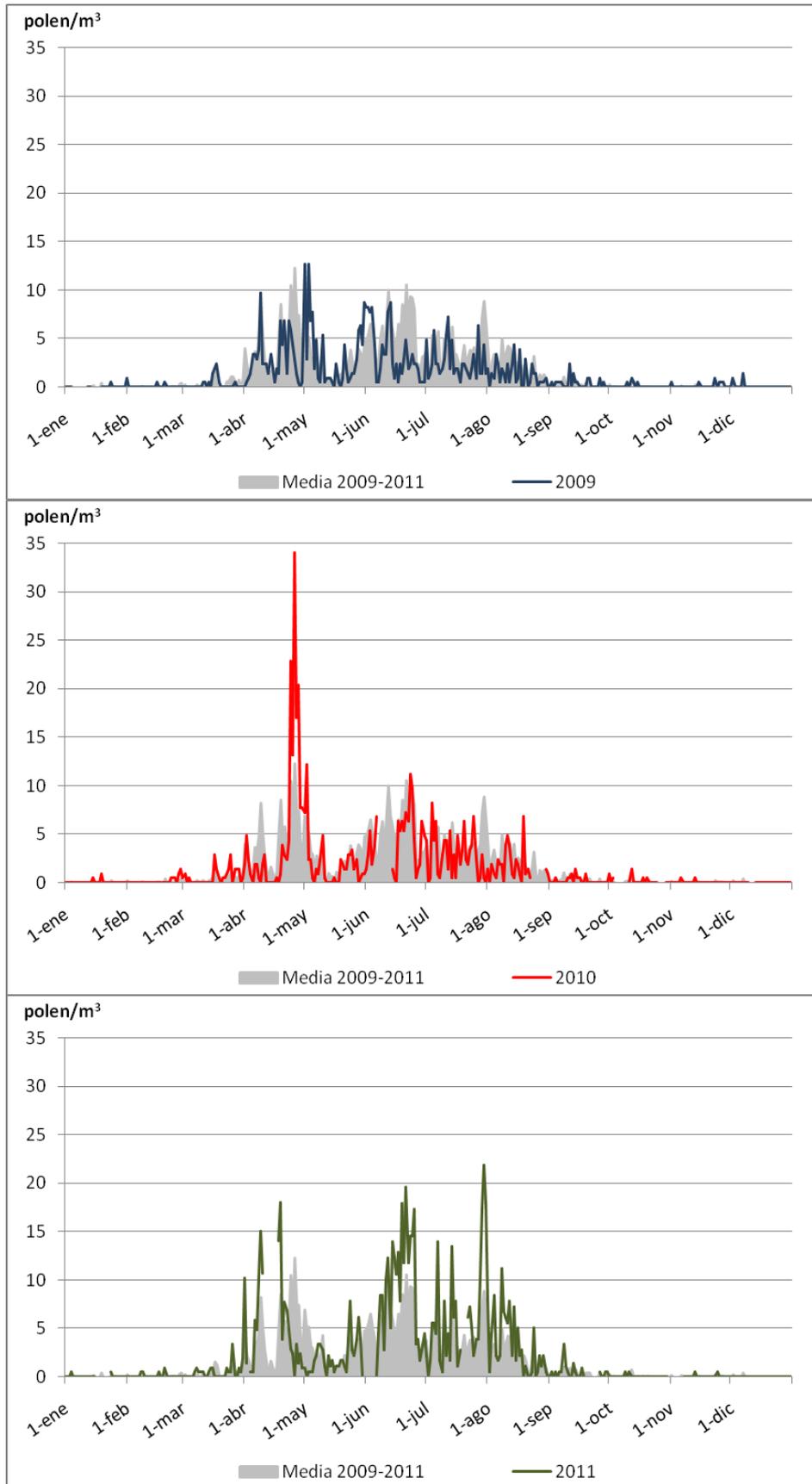


Figura 68. Niveles de polen de Urticaceae en la atmósfera de Valladolid durante el periodo de estudio.

Atendiendo a la categorización establecida por la Red Española de Aerobiología, el número de días de cada categoría se muestra en la tabla 41, siendo muy pocos los días que superaron los 15 granos de polen/m³. En la ciudad de Valladolid solamente en una ocasión se registró un valor superior a 30 granos de polen/m³.

Año	Categorías			
	Nulo (<1 polen/m ³)	Bajo (1-15 polen/m ³)	Moderado (16-30 polen/m ³)	Alto (>30 polen/m ³)
2009	174	180	0	0
2010	186	149	3	1
2011	164	157	7	0

Tabla 41. Número de días con las concentraciones de polen de Urticaceae en cada categoría del grupo 1 de la REA.

6.2. Alergenos Par j 1-Par j 2

En el periodo de estudio se ha registrado un índice alérgico de 10116 con valores variables en los tres años (Figura 69). El número de días de estudio fue mayor en 2010 y 2011, sin embargo, el número de días de detección del alérgeno fue mucho más elevado en 2009. El número total de días en los que se ha detectado proteína fue de 24, lo que supone solo el 6% de los días analizados (Tabla 42).

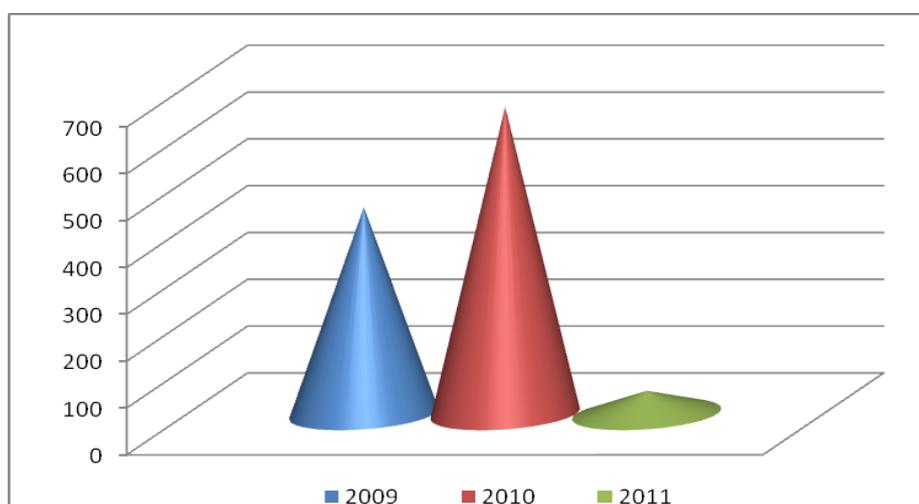


Figura 69. Índices alérgicos anuales de Par j 1-Par j 2 durante el periodo de estudio.

El año 2010 presenta un índice alérgico muy superior al de los otros dos años, tal y como se puede observar en la figura 69, y el día de máxima concentración aparece a finales de abril, siendo el día de máxima concentración del periodo de estudio de tres años.

El periodo alérgico principal de Par j 1-Par j 2 en 2009 va desde el 13 de abril al 28 de julio, comprendiendo 112 días.

	Año	2009	2010	2011
Par j1-Par j2	Periodo de muestreo	1 abril-28 julio	18 marzo-27julio	1 abril-24agosto
	Días de estudio	118	132	146
	Días detección	20	2	2
	IA	441,4	656,2	49,4
	Día pico	22 julio	28 abril	28 julio
	Pg/m ³ del día pico	80,6	516,4	26

Tabla 42. Datos de Par j 1-Par j 2 durante el periodo de estudio de aeroalérgenos en Valladolid.

6.3. Relación entre polen de Urticaceae y Par j 1-Par j 2 e influencia de los parámetros meteorológicos y contaminantes atmosféricos

Las concentraciones de polen de Urticaceae fueron mayores en el periodo de estudio de alérgenos de 2011 (694), que en los otros dos años (416 en 2010 y 363 en 2009) (Figura 70).

Las cantidades de polen de Urticaceae durante el periodo de estudio de aeroalérgenos fueron del 81,7% en 2009, del 86,1% en 2010 y del 98,8% en 2011 de los índices polínicos anuales respectivos, con una media del 88,9%.

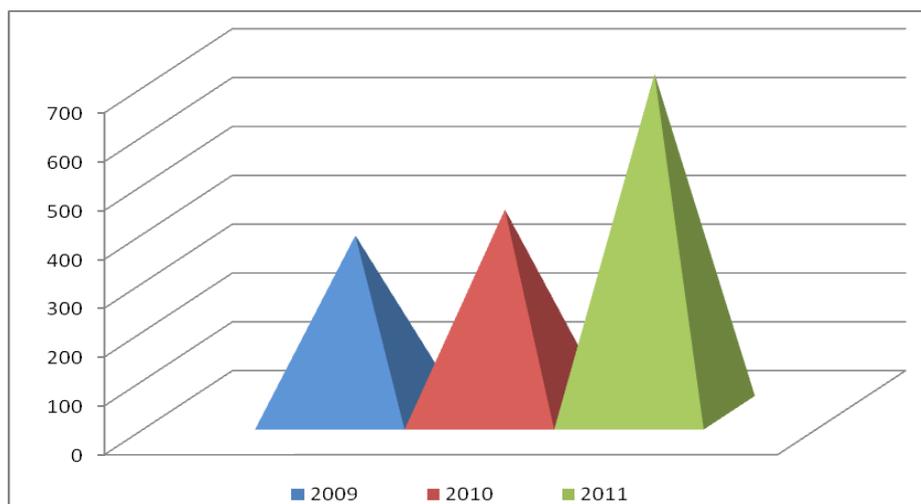


Figura 70. Índices polínicos de Urticaceae durante los periodos de estudio del aeroalérgeno Par j 1-Par j 2.

En el año 2009 el polen de Urticaceae aparece principalmente en abril y junio, sin embargo, la mayor cantidad de alérgeno Par j 1-Par j 2 se detecta en julio, aunque también hay en abril y junio. En este año la presencia en la atmósfera del alérgeno parece retrasarse con respecto a las máximas concentraciones de polen de los meses de primavera. En 2010 se observa que los dos días en los que hubo alérgeno coinciden con las mayores concentraciones de polen de Urticaceae, las cuales tuvieron lugar en la segunda quincena de abril. En 2011 los días en los que se registra el alérgeno y el día pico de polen están próximos (Figura 71).

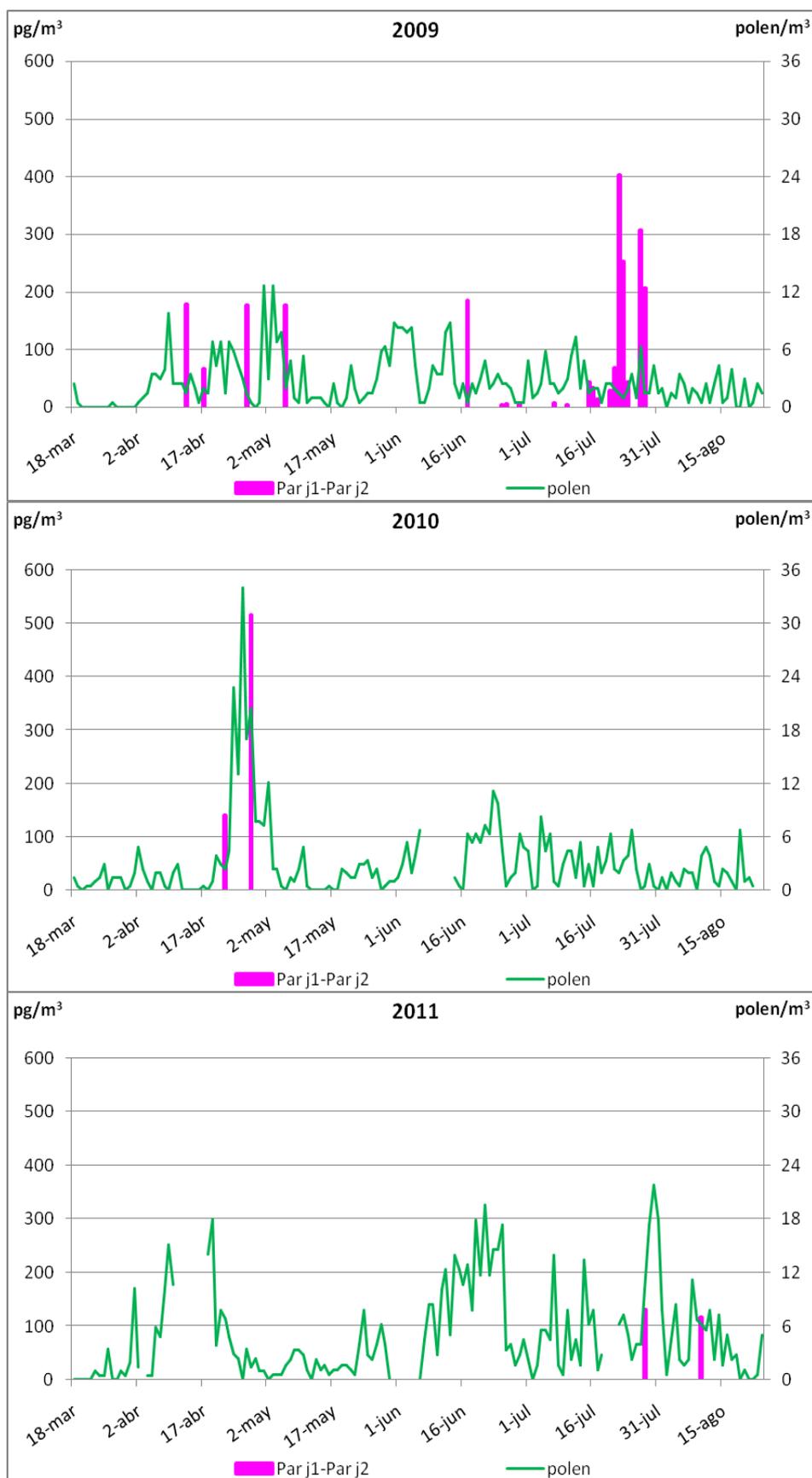


Figura 71. Concentraciones de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011) y polen de Urticaceae en la atmósfera de Valladolid durante el periodo de estudio.

Los análisis estadísticos solo reflejan correlaciones significativas con índices bajos y negativos entre el aeroalérgeno Par j 1-Par j 2 y el polen de Urticaceae durante el periodo de estudio de aeroalérgenos y durante el PAP de 2009 (Tabla 43).

	Año		Par j 1-Par j 2
Polen de Urticaceae	2009	Periodo de estudio	-0,30(*)
		PAP	-0,40(*)
	2010	Periodo de estudio	0,11
		PAP	-
	2011	Periodo de estudio	0,10
		PAP	-
	2009-2011	Periodo de estudio	-0,06
		PAP	-

Tabla 43. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de Urticaceae y el alérgeno Par j 1-Par j 2 considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Urticaceae y el periodo alérgénico principal (PAP). (*= nivel de significación 0,05).

El promedio de la ratio Par j 1-Par j 2/polen de Urticaceae en el periodo de estudio ha sido de 0,78, siendo diferente para cada año: 1,22 en 2009, 1,58 en 2010 y 0,07 en 2011.

En cuanto a la posible influencia de los parámetros de temperatura en las concentraciones del tipo polínico Urticaceae y de Par j 1-Par j 2 en Valladolid, se observa que los días con registros de alérgeno coinciden con subidas de la temperatura máxima y los días de mayor cantidad de alérgeno de cada año ocurren con temperaturas por encima de 25°C. Además, de forma general, se observa que los picos de granos de polen y los días en los que se registran concentraciones de alérgeno de cada año se corresponden con picos de valores de temperaturas tanto máxima, como mínima, media, húmeda y de punto de rocío (Figuras 72 y 73).

En relación con las precipitaciones, puede observarse que éstas ejercen un efecto de lavado sobre el polen de urticáceas, presentándose valles en la curva de distribución de polen (Figura 74). Sin embargo, no se aprecia ninguna relación con las concentraciones de alérgeno, a excepción de lo observado en el año 2009 durante los periodos comprendidos entre el 10 y el 18 de abril y entre el 14 y el 18 de junio, en los que si hay concentraciones de Par j 1-Par j 2 durante el periodo de lluvia. Tampoco los 14,2 mm registrados el 22 de abril de 2010 parecen afectar a la presencia de alérgeno.

En general, se observan descensos en los valores de la humedad relativa durante los días de mayores concentraciones del polen y de los alérgenos de urticáceas (Figura 74).

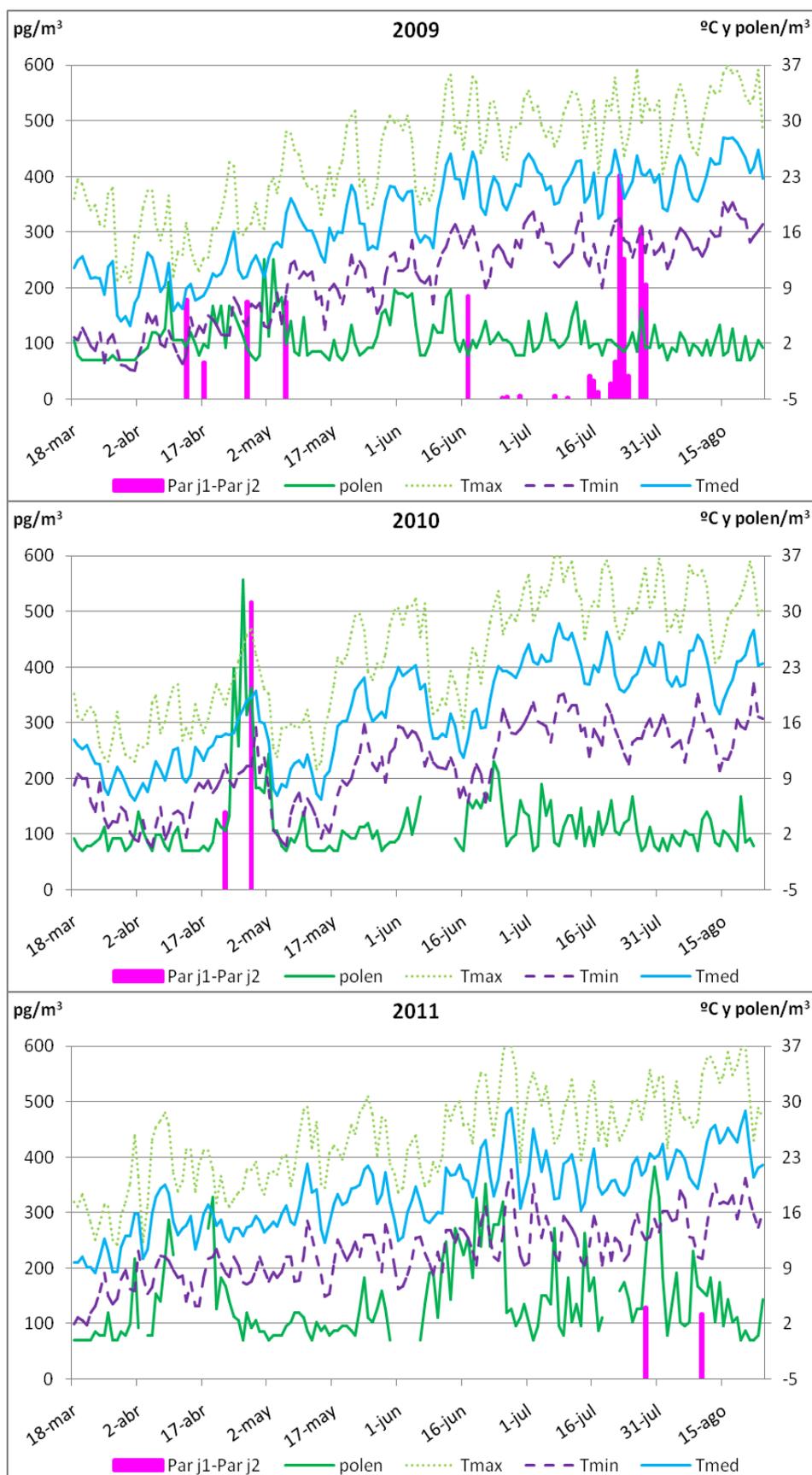


Figura 72. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae y temperaturas máxima (Tmax), media (Tmed) y mínima (Tmin) en Valladolid durante el periodo de estudio.

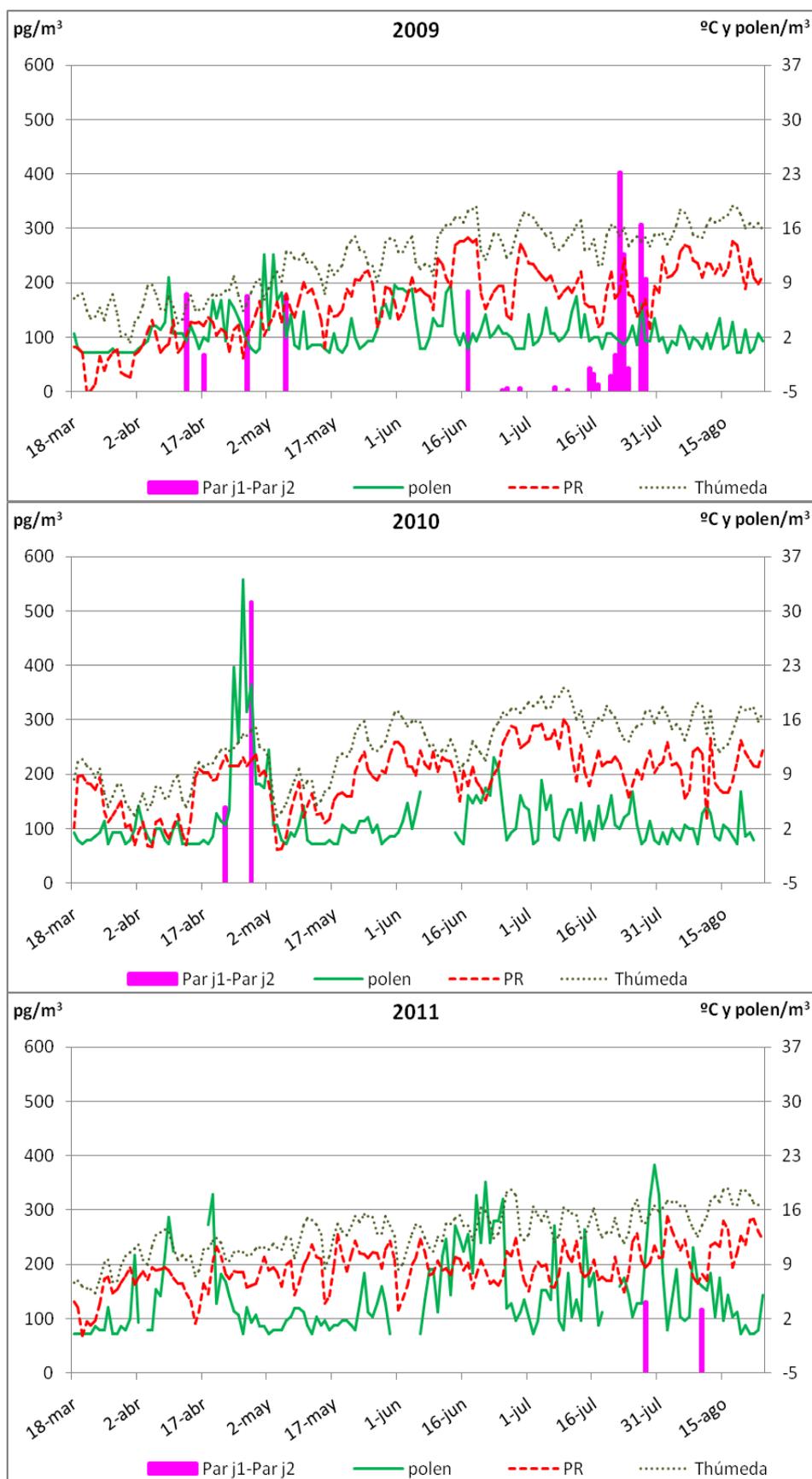


Figura 73. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae y temperaturas húmeda (Thúmeda) y de punto de rocío (PR) en Valladolid durante el periodo de estudio.

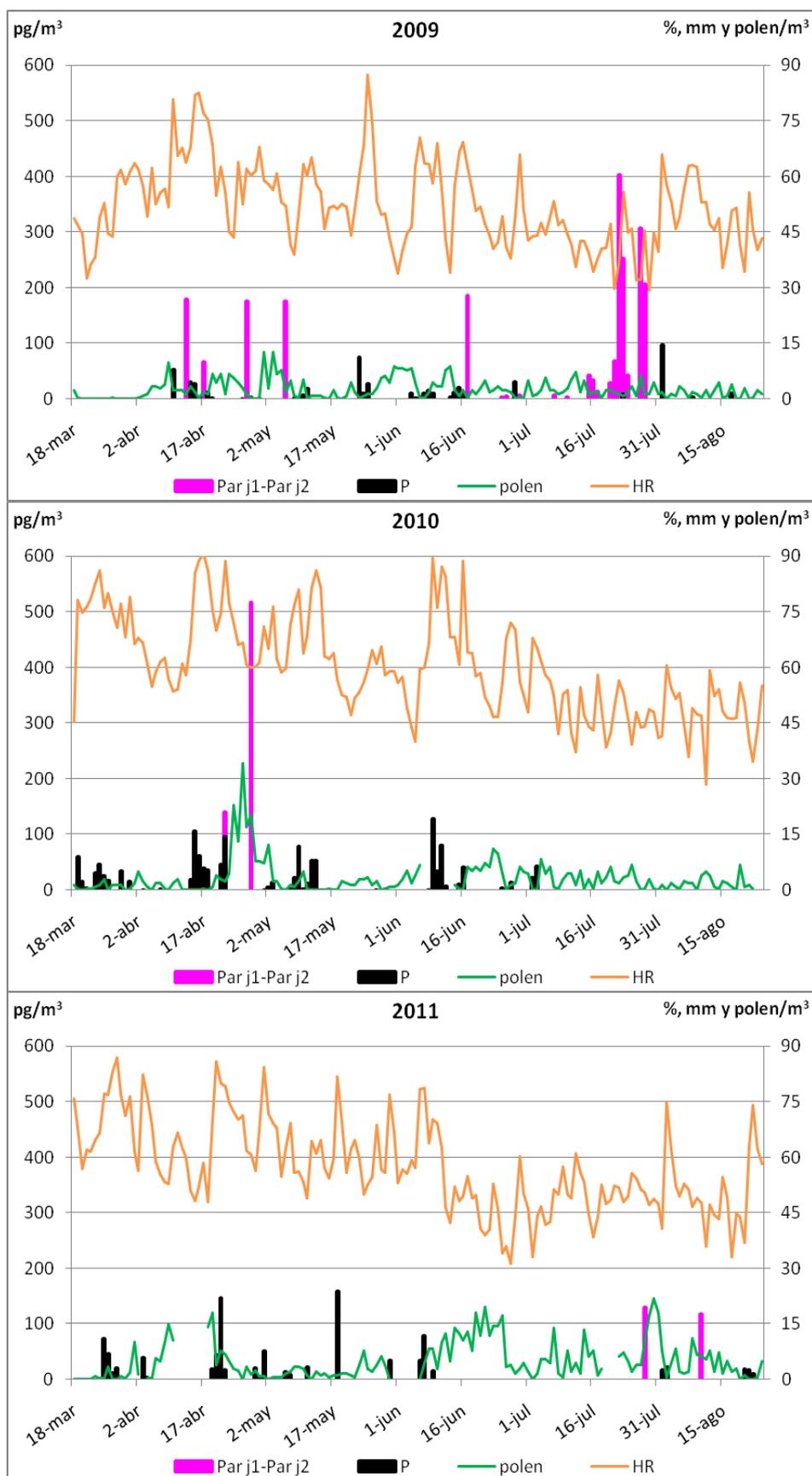


Figura 74. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, precipitaciones (P) y humedad relativa (HR) en Valladolid durante el periodo de estudio.

En líneas generales, se observa que los días de mayores concentraciones de polen de Urticaceae durante los tres años de estudio en la ciudad de Valladolid coinciden con días en los que se registran 12 horas de insolación (Figura 75). Respecto a la evaporación no se aprecia ninguna relación con la concentración de polen. La relación de alérgeno con este parámetro meteorológico no se puede evaluar dado que en el año 2009 no se tienen datos de evaporación del mes de julio, que es el periodo en el cual se registran más días de Par j 1-Par j 2, y tampoco en los otros dos años por tener solo dos días en los que hubo alérgenos (Figura 75).

Las mayores concentraciones de polen de Urticaceae de todo el periodo de estudio ocurren del 24 al 28 de abril de 2010, entre ellos se encuentra la fecha en la que se alcanzó la mayor cantidad de alérgeno de todo el periodo de estudio (28 de abril) y que coinciden con una velocidad del viento entre 5 y 7 km/h (Figura 76). Los días pico de polen y los días de mayores concentraciones de alérgeno del año 2009 coincidieron, de forma general, con velocidades de más de 10 km/h; en concreto, la velocidad del viento del día pico de alérgeno de este año (22 de julio) fue superior a los 15 km/h.

En relación con la radiación solar, se observan niveles de 30 MJ/m² los días de mayores concentraciones de polen de Urticaceae. Sin embargo, el día de mayor cantidad de alérgeno de los tres años coincidió con una radiación de 24 MJ/m² y durante el día pico de alérgeno de 2009 la radiación fue de 20 MJ/m², sin que en ninguno de los dos días se registrasen lluvias (Figura 77).

Si observamos la distribución del ozono no parece haber ninguna relación con la concentración del polen de Urticaceae. No obstante, en 2009 los días con detección de alérgeno coinciden con descensos de las cantidades de ozono, a excepción del 27 de julio de ese mismo año. En 2010 y 2011 la presencia de alérgeno concuerda o está precedida por días con descensos en la concentración de ozono (Figura 77).

En relación con el material particulado (Figura 78), en general se observa que los días de mayores concentraciones de polen de Urticaceae coinciden con picos en las distribuciones de PM10 y PM2,5, no observándose ninguna relación de estos parámetros con el alérgeno.

Algo similar ocurre con los óxidos de nitrógeno. Así se observan coincidencias de los picos de monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno con los días de mayores concentraciones de polen durante los tres años de estudio, no encontrándose ninguna relación con los alérgenos del polen de Urticaceae (Figura 79).

No se aprecia concordancia entre la distribución de polen y alérgenos y la de monóxido de carbono y de dióxido de azufre (Figura 80).

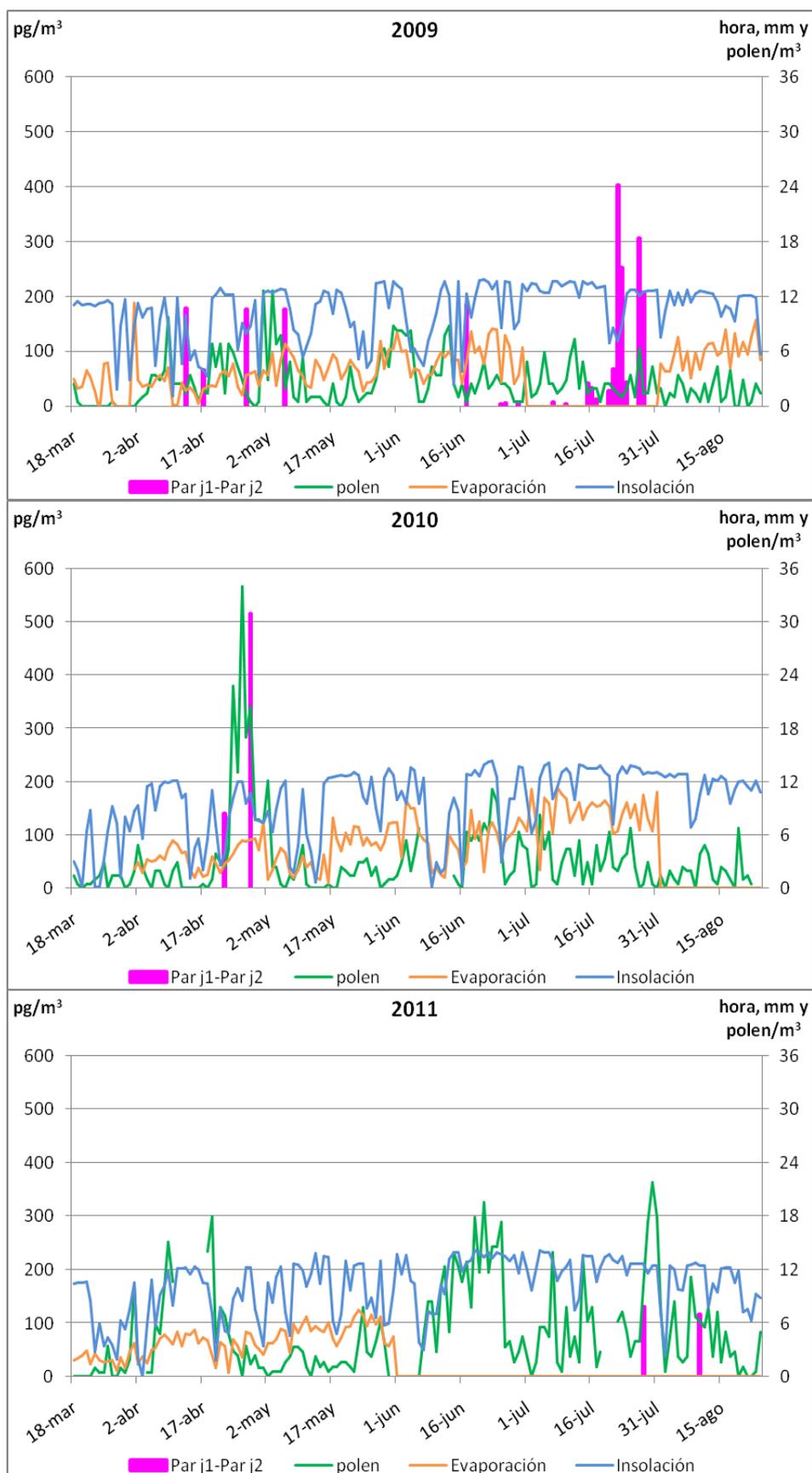


Figura 75. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticeae, evaporación e insolación en Valladolid durante el periodo de estudio.

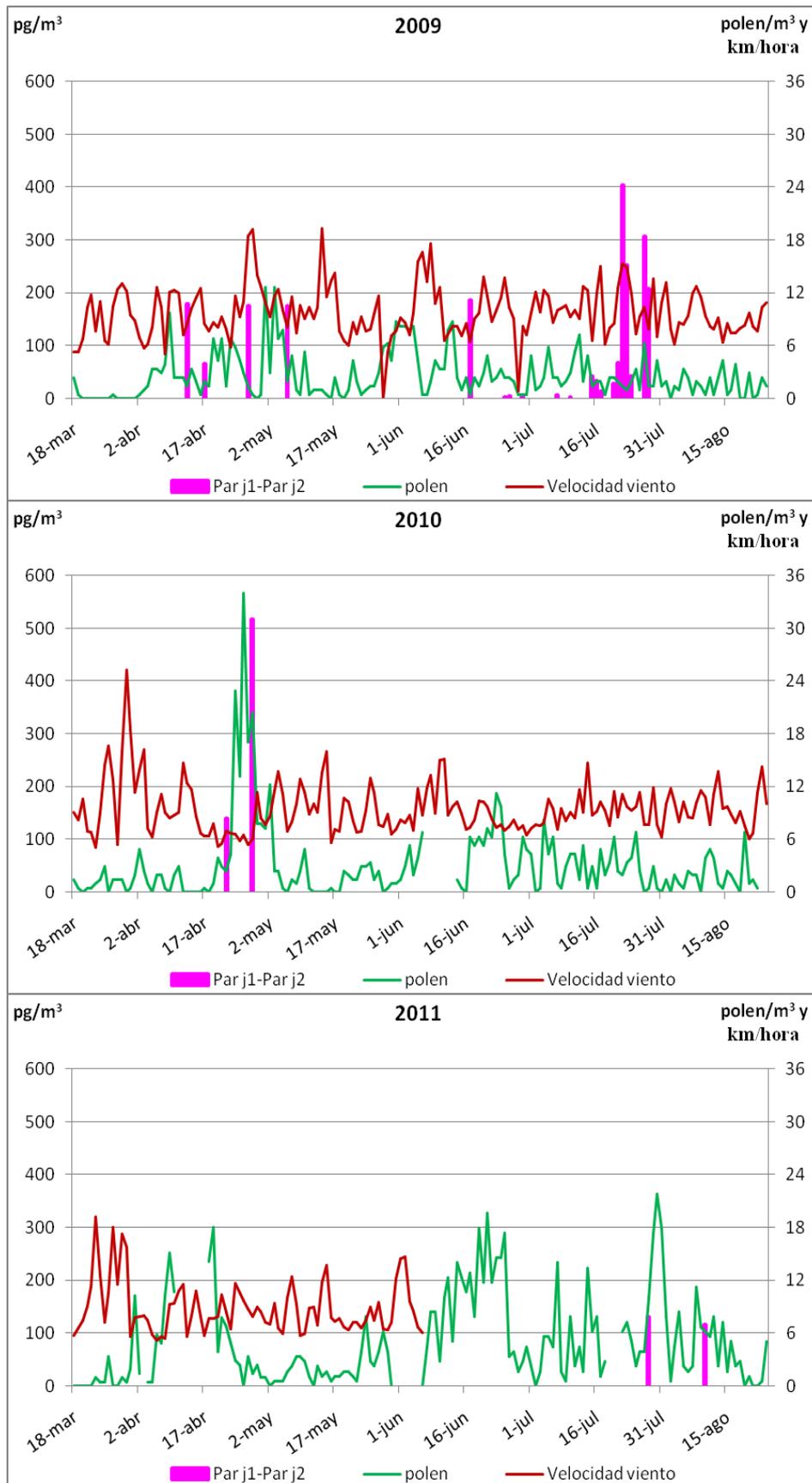


Figura 76. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticeae y velocidad del viento en Valladolid durante el periodo de estudio.

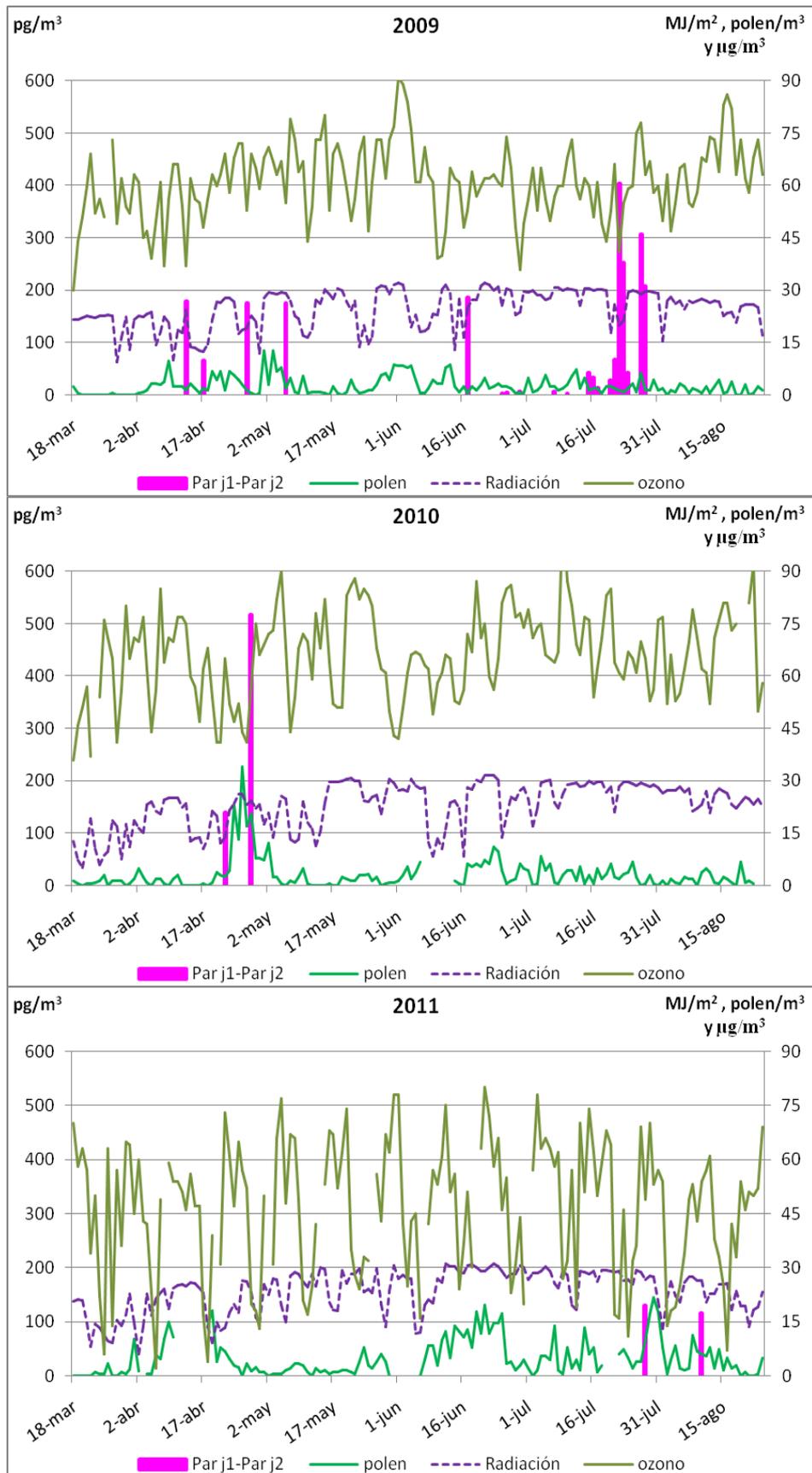


Figura 77. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticeae, radiación solar y ozono en Valladolid durante el periodo de estudio.

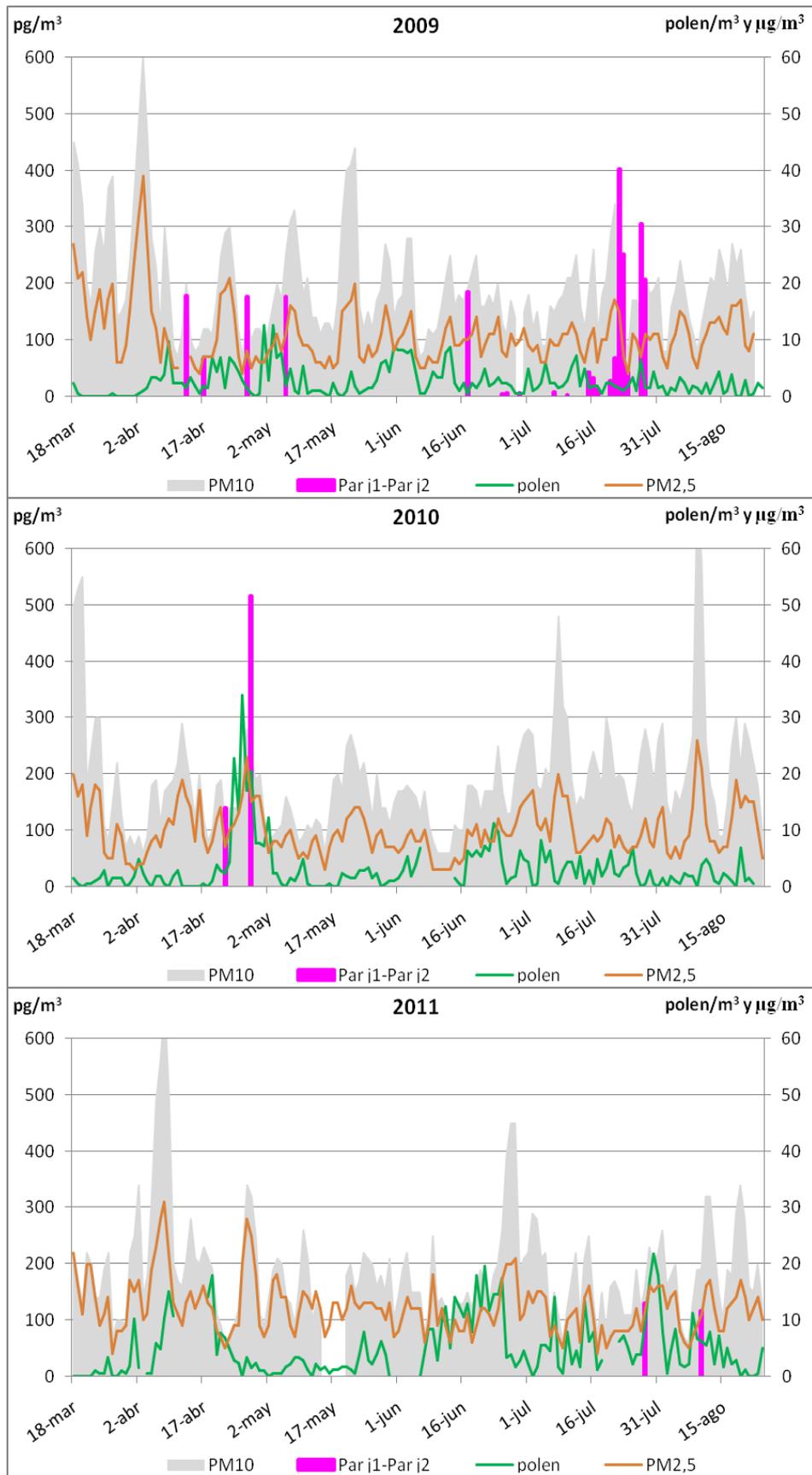


Figura 78. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticeae, PM10 y PM2,5 en Valladolid durante el periodo de estudio.

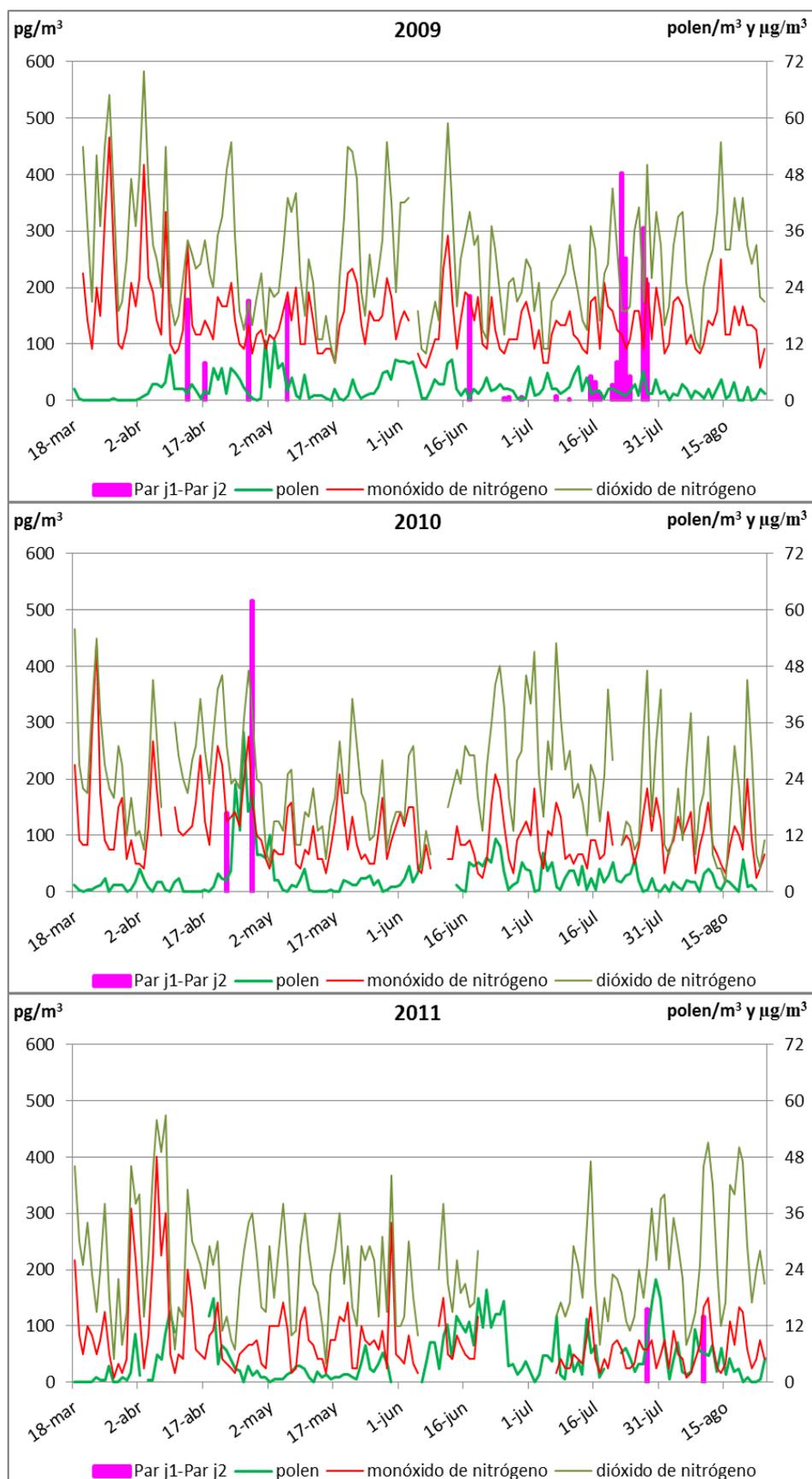


Figura 79. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno en Valladolid durante el periodo de estudio.

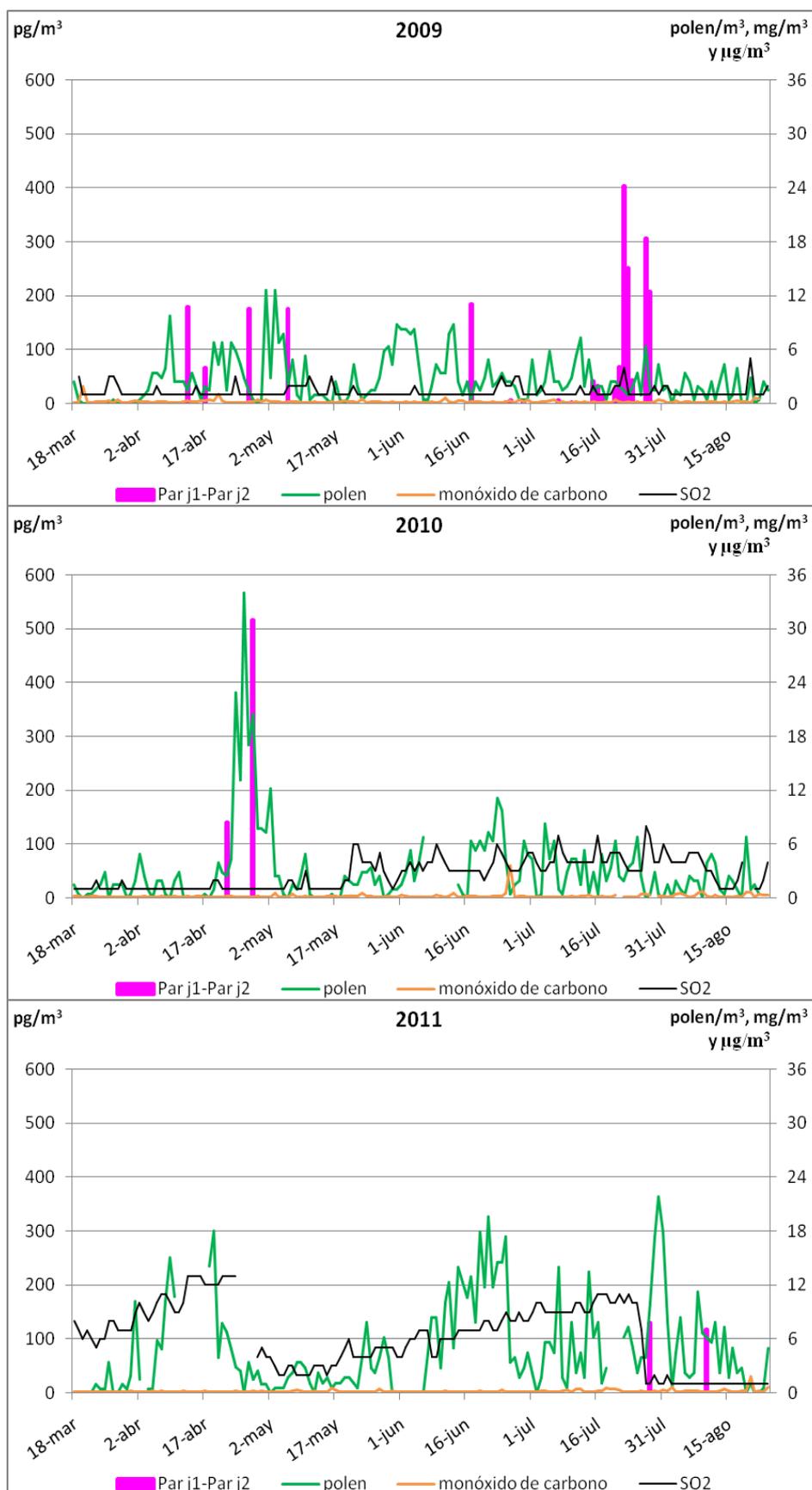


Figura 80. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, monóxido de carbono y dióxido de azufre en Valladolid durante el periodo de estudio.

El polen de Urticaceae muestra coeficientes de correlación moderados o altos y positivos con los parámetros de temperatura, de insolación, de evaporación y de radiación y negativas con la humedad relativa, con un nivel de significación del 99%, y con las precipitaciones. Todo ello teniendo en cuenta el periodo anual, no detectándose correlación significativa en los correspondientes PPP (Tabla 44).

		2009	2010	2011	2009-2011
Tmax	Año	0,49(**)	0,57(**)	0,64(**)	0,57(**)
	PPP	-0,01	0,28(**)	0,27(**)	0,17(**)
Tmin	Año	0,39(**)	0,49(**)	0,61(**)	0,49(**)
	PPP	-0,13	0,22(**)	0,01	0,03
Tmed	Año	0,46(**)	0,55(**)	0,64(**)	0,55(**)
	PPP	-0,07	0,26(**)	0,18(*)	0,11(*)
THúmeda	Año	0,40(**)	0,54(**)	0,64(**)	0,53(**)
	PPP	-0,11	0,29(**)	0,03	0,08
PR	Año	0,21(**)	0,46(**)	0,54(**)	0,40(**)
	PPP	-0,22(**)	0,27(**)	-0,22(**)	0,01
HR	Año	-0,47(**)	-0,49(**)	-0,56(**)	-0,50(**)
	PPP	-0,14	-0,19(*)	-0,35(**)	-0,18(**)
P	Año	-0,13(*)	-0,21(**)	-0,15(**)	-0,17(**)
	PPP	-0,07	-0,26(**)	-0,27(**)	-0,20(**)
Evaporación	Año	0,43(**)	0,51(**)	0,53(**)	0,48(**)
	PPP	0,07	0,20(*)	0,07	0,15(**)
Insolación	Año	0,50(**)	0,52(**)	0,60(**)	0,54(**)
	PPP	0,23(**)	0,30(**)	0,38(**)	0,28(**)
Radiación	Año	0,62(**)	0,62(**)	0,73(**)	0,65(**)
	PPP	0,35(**)	0,31(**)	0,26(**)	0,29(**)
Velocidad	Año	0,08	0,01	0,32(**)	0,13(**)
	PPP	0,08	-0,06	0,00	-0,01
FR1C	Año	0,09	0,16(**)	0,13	0,12(**)
	PPP	0,08	0,10	-0,13	0,07
FR2C	Año	-0,06	-0,09	0,05	-0,06
	PPP	-0,07	-0,11	0,18	-0,03
FR3C	Año	-0,06	-0,13(*)	-0,03	-0,08(*)
	PPP	-0,08	-0,11	0,11	-0,09
FR4C	Año	0,17(**)	0,09	-0,00	0,10(**)
	PPP	0,04	0,18(*)	-0,05	0,08
FRCALMA	Año	-0,12(*)	-0,05	-0,17(*)	-0,11(**)
	PPP	-0,13	0,00	0,01	-0,03

Tabla 44. Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Urticaceae y los parámetros meteorológicos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

La temperatura máxima es uno de los parámetros más influyentes, explicando el 49% de la variación de los datos en el año 2009, el 57% en 2010, el 64% en 2011 y el 57% en el conjunto de 2009-2011. La humedad relativa y la insolación explicarían aproximadamente la mitad de los datos en cada año. La radiación solar es el parámetro meteorológico más influyente sobre las concentraciones de polen de Urticaceae explicando el 62% de la variabilidad de los datos en 2009 y 2010, el 73% en 2011 y el 65% en 2009-2011.

El polen de Urticaceae presenta correlaciones con todos los contaminantes atmosféricos analizados salvo con el material particulado PM10, aunque, en general, con coeficiente bajos, teniendo en cuenta un año natural o el PPP (Tabla 45).

El mayor índice de correlación (-0,54) se ha obtenido entre el tipo polínico Urticaceae y el monóxido de nitrógeno en el año 2011.

También son destacables los coeficientes moderados y positivos encontrados con el ozono durante los años 2009 y 2010 (Tabla 45).

		2009	2010	2011	2009-2011
PM10	Año	-0,03	0,06	-0,02	0,00
	PPP	0,03	0,09	0,07	0,05
PM2,5	Año	-0,05	-0,13(*)	-0,27(**)	-0,13(**)
	PPP	-0,00	0,12	-0,01	0,08
NO	Año	-0,14(**)	-0,35(**)	-0,54(**)	-0,36(**)
	PPP	-0,04	-0,05	0,01	-0,16(**)
NO ₂	Año	-0,15(**)	-0,24(**)	-0,23(**)	-0,21(**)
	PPP	-0,01	0,02	0,04	-0,01
CO	Año	-0,14(**)	0,04	0,12(*)	-0,01
	PPP	-0,20(**)	-0,03	-0,20(*)	-0,19(**)
SO ₂	Año	-0,28(**)	0,17(**)	0,29(**)	0,06
	PPP	-0,01	0,17(*)	0,24(**)	0,25(**)
O ₃	Año	0,51(**)	0,49(**)	0,00	0,31(**)
	PPP	0,18(*)	0,06	0,15	-0,01
C ₆ H ₆	Año	-0,14(**)	.	-0,09	-0,09(**)
	PPP

Tabla 45. Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Urticaceae y los contaminantes atmosféricos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

En relación con el alérgeno Par j 1-Par j 2, únicamente se han realizado análisis estadísticos en el año 2009, debido al escaso número de días en los que se ha detectado en los otros dos años.

El alérgeno presenta correlaciones moderadas y positivas con todos los parámetros de temperatura siendo los valores ligeramente superiores en el

periodo de estudio de aeroalérgenos que en el periodo alérgico principal (PAP). También muestra correlación positiva, aunque con valores inferiores, con el viento procedente del sureste y con los periodos de calma y negativa con la humedad relativa y la velocidad del viento (Tabla 46).

		2009
Tmax	Periodo estudio	0,65(**)
	PAP	0,54(**)
Tmin	Periodo estudio	0,65(**)
	PAP	0,57(**)
Tmed	Periodo estudio	0,61(**)
	PAP	0,53(**)
THúmeda	Periodo estudio	0,63(**)
	PAP	0,53(**)
PR	Periodo estudio	0,58(**)
	PAP	0,42(*)
HR	Periodo estudio	-0,41(**)
	PAP	-0,36(*)
P	Periodo estudio	-0,20
	PAP	-0,33
Evaporación	Periodo estudio	0,26
	PAP	0,33
Insolación	Periodo estudio	0,18
	PAP	0,04
Radiación	Periodo estudio	0,19
	PAP	0,13
Velocidad	Periodo estudio	-0,37(*)
	PAP	-0,30
FR1C	Periodo estudio	0,03
	PAP	0,07
FR2C	Periodo estudio	0,38(*)
	PAP	0,36(*)
FR3C	Periodo estudio	-0,02
	PAP	0,12
FR4C	Periodo estudio	0,07
	PAP	0,21
FRCALMA	Periodo estudio	0,32(*)
	PAP	0,11

Tabla 46. Coeficientes de correlación de Spearman entre Par j 1-Par j 2 y los parámetros meteorológicos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Urticaceae y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).

El análisis estadístico del alérgeno con los contaminantes atmosféricos muestra que tan solo hay correlación significativa y negativa con el ozono en el PAP (Tabla 47).

		2009
PM10	Periodo estudio	0,01
	PAP	0,21
PM2,5	Periodo estudio	-0,06
	PAP	0,07
NO	Periodo estudio	-0,01
	PAP	0,08
NO ₂	Periodo estudio	-0,10
	PAP	-0,05
CO	Periodo estudio	-0,05
	PAP	-0,09
SO ₂	Periodo estudio	0,24
	PAP	0,16
O ₃	Periodo estudio	-0,18
	PAP	-0,38(*)
C ₆ H ₆	Periodo estudio	.
	PAP	.

Tabla 47. Coeficientes de correlación de Spearman entre Par j 1-Par j 2 y los contaminantes atmosféricos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Urticaceae y el periodo alérgico principal (PAP). (*= nivel de significación 0,05).

V. Discusión

1. Tipo polínico *Platanus*

El polen de *Platanus* es el que más contribuye al polen total de la atmósfera de Valladolid. En el mismo sentido, el Registro Aerobiológico de Castilla y León (RACYL, <http://www.saludcastillayleon.es/ciudadanos/es/polen/>) y Sánchez Reyes (2010) sitúan este tipo polínico como el más abundante en la atmósfera de la ciudad. Ello es debido al gran número de platanos de sombra plantados como ornamentales desde hace muchos años y a las prácticas de jardinería que mantienen sin podar, durante largos periodos de tiempo, los grandes ejemplares que existen en las amplias avenidas, plazas y parques. Sin embargo, esta práctica de jardinería no es frecuente en otras localidades de la región, donde anualmente someten a estos árboles a podas exageradas para que se desarrollen más las hojas, lo que reduce considerablemente la floración y la polinización, como ocurre en Palencia, León o Zamora (Fernández González *et al.*, 2010), o en otras zonas de la Península como se ha constatado en Granada (De Linares, 2007), por lo que el polen de *Platanus* aparece en el aire en proporciones bajas, aunque el número de ejemplares pueda ser similar.

Durante este estudio, la concentración de polen de *Platanus* en la atmósfera de Valladolid fue muy superior a la citada en la misma localidad por Sánchez-Reyes (2010), debido probablemente a diversos factores como la diferente ubicación del captador de polen, la mayor edad de los árboles y/o a las condiciones meteorológicas distintas.

Varios trabajos realizados en otras localidades han puesto de manifiesto, que existen grandes diferencias en la presencia de este tipo polínico en la atmósfera, así en Barcelona, Madrid, Sevilla, Zaragoza y Ciudad Real es el tipo polínico mayoritario, mientras que en A Coruña, Albacete, Almería, Bilbao, Cartagena, Cádiz, Lugo, Málaga, Motril, Nerja, Oviedo, Salamanca, Santander, Santiago de Compostela, Valencia y Vigo, las concentraciones son tan bajas, que simplemente se indica su aparición en la época correspondiente (Antepara *et al.*, 1994; Toro, 1997; Díaz de la Guardia *et al.*, 1999; Rodríguez Rajo, 2000; Jato *et al.*, 2001; Belmonte & Roure, 2002; Bermejo & García, 2002; Candau *et al.*, 2002; Gabarra *et al.*, 2002; Gutiérrez Bustillo *et al.*, 2002; Prieto *et al.*, 2002; Tortajada & Matéu, 2002; De Benito, 2003; Sabariego, 2003; Hervés García, 2005; Iglesias *et al.*, 2007; Docampo, 2008; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008; Sabariego *et al.*, 2008; Rodríguez de la Cruz *et al.*, 2010; Cabrera, 2011; Fernández González *et al.*, 2013).

El periodo polínico principal de *Platanus* en Valladolid fue muy corto, alrededor de 25 días de media, debido a que un solo taxón se incluye en este tipo polínico, es una especie de floración única y las variables meteorológicas, sobre todo las temperaturas y la ausencia de precipitaciones influyen mucho en la duración del periodo polínico principal (PPP).

Los altos índices de correlación positivos observados durante el periodo polínico principal de 2011 entre el polen y la temperatura máxima, junto con la ausencia de precipitaciones, explicarían la brevedad del mismo ya que se produce una liberación explosiva del polen al abrirse las anteras casi contemporáneamente. Algunos autores manifiestan que la temperatura máxima es el principal factor responsable de la dehiscencia de las anteras y la consiguiente dispersión del polen a la atmósfera en las regiones templadas (Fernández González *et al.*, 1999; García Mozo *et al.*, 2009; Jato *et al.*, 2009). González Minero *et al.* (1997) también indican que cuando la polinización ha comenzado, las altas temperaturas y la falta de lluvia hacen que sea un periodo corto, pero si las temperaturas son bajas y existen precipitaciones frecuentes el periodo se alarga. Asimismo, Belmonte *et al.* (1998) señalan para Barcelona, donde los meses primaverales son generalmente húmedos y con temperaturas suaves, que los PPP son largos. Cadenas *et al.* (2009) indican que el polen de *Platanus* aparece en la atmósfera de Madrid en situaciones estables y soleadas (“veranillos”) y que las intrusiones frías retardan la aparición del polen.

La mayor presencia del polen de *Platanus* en la atmósfera de Valladolid tuvo lugar durante los 20 primeros días de abril. Esto es coincidente con lo indicado por Sánchez Reyes (2010) para la misma ciudad y por Rodríguez de la Cruz (2008) para la ciudad de Salamanca. Sin embargo, en otras localidades españolas, la mayor concentración se detecta en el mes de marzo y la primera quincena de abril, aunque algunos años puede hacer acto de presencia en los últimos días de febrero y, en ciudades como Barcelona, su época de presencia atmosférica se alarga hasta junio (Díaz de la Guardia *et al.*; 1999, Iglesias *et al.*, 2007; Nieto Lugilde, 2008; Sabariego *et al.*, 2008; Fernández González *et al.*, 2010; Cabrera, 2011).

Los días pico de polen de *Platanus* ocurren en el mes de abril en Valladolid, como ya observó Sánchez Reyes (2010). Lo mismo comprobó Rodríguez de la Cruz (2008) en Salamanca. Otros autores apuntan a que los días de cantidades más altas se detectan generalmente en marzo, en la segunda quincena, y ocasionalmente a principios de abril (De Benito, 2003; Alcázar *et al.*, 2004; Nieto Lugilde, 2008; Cabrera, 2011). Díaz de la Guardia *et al.* (1999) señalan como excepcional el día pico de León que tuvo lugar en el mes de mayo de 1998. Estas variaciones son debidas a las características climáticas de cada zona geográfica y a las variaciones meteorológicas anuales.

Como se ha comprobado en este estudio y en el de Sánchez Reyes (2010), en la ciudad de Valladolid y en otras localidades como Lleida, Girona o Córdoba se superan los 50 granos de polen/m³ durante diez días al año. En ciudades como Madrid y Barcelona son más de 20 días al año los que alcanzaron esta concentración. Sin embargo, en ciudades como León, Santiago de Compostela, Tarragona, Granada, Salamanca, Vigo, Orense, Jaén, Motril, Estepona o Málaga son ocasionales o no se observan niveles moderados (Díaz de la Guardia *et al.*, 1999; Alcázar *et al.*, 2004; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008). Estos datos reflejan la importancia que tiene este polen en la

incidencia de la alergia respiratoria en esta ciudad, pues autores como Alcázar *et al.* (2004) señalan que la mayoría de los pacientes manifiestan que los síntomas comienzan normalmente a los pocos días de que las concentraciones de polen de *Platanus* alcanzan los 50 granos/m³.

En este trabajo la mayor cantidad del aeroalérgeno Pla a 1 se detecta en el año 2011 (1479,5) y el día pico del periodo de estudio (751,8 pg/m³) también tuvo lugar en 2011. En otras ciudades se detectan concentraciones de Pla a 1 muy superiores, como en Orense con un índice alergénico en 2012 de 7900 y el día pico con 1200 pg/m³ el 28 de marzo (Fernández-González *et al.*, 2013). En Valladolid en 2009 y 2010 se presentan máximos similares a los registrados en Toledo (230 pg/m³) (Rapp *et al.*, 2012). En Madrid se cita el 7 de abril de 2010 como día pico con una concentración de 350 pg/m³ (Cabrera, 2011). En la ciudad de León se citan días pico en mayo de 2008 y 2009, aunque con concentraciones menores a las observadas en Valladolid (Fernández-González *et al.*, 2010).

Las ratios alérgeno/polen calculadas en Valladolid para los tres años de estudio (0,07, 1,13 y 0,22) son ligeramente más altas que en Orense (0,05) y Cartagena (0,03) en 2007 (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011), y similares a las registradas en Orense en el año 2012 (1,1) (Fernández-González *et al.*, 2013).

La coincidencia de las mayores cantidades de Pla a 1 con las concentraciones más elevadas de polen de *Platanus* en Valladolid, también ha sido indicado por Rapp *et al.*, (2012) para Toledo y por Rodríguez-Rajo *et al.* (2011) para Orense en 2007. Sin embargo, en Orense, la concentración de polen es registrada antes de la presencia de Pla a 1 en 2012 (Fernández González *et al.*, 2013). Lo contrario ha sido observado en Cartagena en el año 2007 (Rodríguez Rajo *et al.*, 2011) y en Madrid dónde el día pico de alérgeno ocurrió el 7 de abril y cinco días después ocurrió el día pico de polen (Cabrera, 2011). En León Pla a 1 y el polen de *Platanus* tuvieron un comportamiento diferente, incluso en un año con escasa cantidad de polen se detectan niveles de alérgeno similares al año precedente donde los recuentos de polen de *Platanus* (Fernández-González *et al.*, 2010) fueron más altos, sugiriendo que están implicadas otras fuentes de alérgenos, estructural y funcionalmente similares a las proteínas inhibidoras de la invertasa del plátano de sombra; si bien, en relación con esto, Buters *et al.* (2010) indican para otros aeroalérgenos, que cuando las condiciones meteorológicas son desfavorables para la dispersión de polen, y en consecuencia hay poca concentración de polen en el aire, la potencia alergénica podría ser más elevada. Otros autores también apuntan discrepancias entre el tiempo de aparición del polen y del alérgeno (Fernández-González *et al.*, 2013).

El análisis estadístico entre el polen y el alérgeno Pla a 1 solo muestra relación entre ambos durante el periodo de estudio del aeroalérgeno en el año 2010 y durante los periodos alergénicos principales (PAP) de 2009 y 2010. Una posible explicación a esta falta de relación estadística entre polen y alérgeno de *Platanus* hay que buscarla en el breve periodo de tiempo de liberación de ambos

a la atmósfera. En trabajos con un año de estudio, unos autores señalan correlaciones significativas entre el polen y Pla a 1 (Rapp *et al.*, 2012); en cambio, en otros trabajos no hay correlaciones significativas entre alérgeno y polen de *Platanus*, aunque si se encuentran correlaciones negativas de Pla a 1 con otros tipos polínicos (Fernández-González *et al.*, 2010).

Los efectos de las variaciones meteorológicas sobre los bioaerosoles pueden ser inmediatos o acumulativos (Weber, 2003).

Los resultados de los análisis estadísticos entre las concentraciones de polen de *Platanus* y los parámetros meteorológicos no son consistentes dado el elevado número de coeficientes no significativos y por presentar, en general, índices bajos y de signo distinto de unos años a otros. Ello nos permite explicar las particularidades del comportamiento del polen en los distintos años. Otros estudios sobre polen también presentan resultados estadísticos dispares en distintos años estudiados (Rodríguez Rajo, 2000; Rodríguez de la Cruz, 2008; Sánchez Reyes, 2010). En Madrid, Cabrera (2011) no encuentra correlaciones consistentes de polen con variables meteorológicas utilizando el Test de Pearson. Otros autores si encuentran correlaciones consistentes con la humedad relativa (Hervés García, 2005).

Los resultados estadísticos en el caso del alérgeno Pla a 1 muestran que ninguna variable meteorológica influye homogéneamente todos los años o periodos. Estudios realizados en León no muestran ninguna correlación significativa de Pla a 1 con las variables meteorológicas estudiadas (Fernández González *et al.*, 2010). En Orense y en un solo año de estudio se citan correlaciones significativas de Pla a 1 con temperatura máxima y media y negativas con la humedad relativa (Fernández González *et al.*, 2013). En Madrid, tampoco se encuentran correlaciones consistentes entre Pla a 1 y variables meteorológicas (Cabrera, 2011).

En este trabajo se puede observar de forma particular una influencia de las temperaturas en las concentraciones de polen en el PPP del año 2011 y del alérgeno en el periodo alérgico principal del 2010, con índices significativos, positivos y moderado-altos. Existen trabajos que indican correlaciones positivas del polen de *Platanus* con las temperaturas, sobre todo con las máximas, en distintas ciudades españolas (Recio, 1995; Alba, 1997; Alba & Díaz de la Guardia, 1998; Rodríguez Rajo, 2000; Hervés García, 2005; Iglesias *et al.*, 2007; Nieto Lugilde, 2008; Alcázar *et al.*, 2011; Fernández González *et al.*, 2013). Tedeschini *et al.* (2006) observan que el aumento de las temperaturas primaverales adelanta el comienzo de la polinización de *Platanus* y que temperaturas más bajas provocan una más rápida liberación del polen.

En Valladolid, la temperatura media promedio de los tres años de estudio fue de 13,3°C, superior a los 12,6°C del periodo 1981-2010 (Nafría *et al.*, 2013). En este estudio se observa que las temperaturas medias durante 2009 y 2011 superaron los 10°C los días previos a los picos de polen y de Pla a 1; en cambio

en 2010, las temperaturas medias por debajo de 10°C desde el 25 de marzo hasta el 14 de abril, explicarían el retraso del inicio de la estación polínica y de Pla a 1 a la segunda quincena de abril.

En este sentido, Alba & Díaz de la Guardia (1998) manifiestan que las estaciones de floración más tempranas han tenido lugar en años en los que las temperaturas justo antes de la floración eran más altas. También Frenguelli *et al.* (1991) indican que temperaturas medias bajas provocan un retraso en el inicio de la temporada de polen, impuesto por la prolongación del periodo de latencia y en la misma línea, Barceló Coll *et al.* (1987) concluyen que la fase de latencia y la fase de floración en *Platanus* están muy influenciadas por el fotoperiodo y la temperatura.

Las heladas ocurridas en Valladolid los días 30 y 31 de marzo y 1 de abril de 2009 podrían explicar los descensos bruscos en las concentraciones de polen entre los dos picos, lo cual estaría ratificado con los coeficientes de correlación significativos y negativos entre el polen de *Platanus* y la temperatura mínima y la temperatura de punto de rocío registradas este año. Además, dichas heladas podrían ser las causantes de que aunque el segundo pico de polen sea mayor que el primero la concentración de alérgeno en éste, sea inferior.

En Valladolid se han observado bajas temperaturas de punto de rocío antes de los días de detección de Pla a 1, y antes de la aparición de los dos picos más altos de Pla a 1 en 2009, es decir, los días de mayores concentraciones de Pla a 1 coinciden con temperaturas de punto de rocío más elevadas. Ello se corresponde con una correlación positiva cuando consideramos todos los periodos alergénicos principales juntos, lo que demuestra cierta influencia de este parámetro meteorológico en la dispersión de aeroalérgenos

La explicación de por qué se contabilizaron menores cantidades de polen de *Platanus* y de alérgeno Pla a 1 en 2010 que en 2009 y 2011 podría ser debida por un lado, al “efecto de lavado” que la precipitación provocó durante la estación polínica, como también indican otros autores (Starr & Mason, 1966; Frei, 1998; Ballero & Maxia, 2003; Jato *et al.*, 2010; Tormo *et al.*, 2010), el cual redujo considerablemente, aunque no totalmente, las concentraciones de polen y por otro a que la humedad relativa fue elevada, por encima del 80%, durante el periodo polínico principal de 2010, y esto impediría la deshidratación de las anteras, necesaria para la liberación del polen (De Benito, 2003) y al provocar la hidratación del polen ya emitido a la atmósfera, lo que implica un aumento de su peso, siendo depositado más rápidamente en el suelo por acción de la gravedad (Jato *et al.*, 2000; Aira *et al.*, 2001; Ballero & Maxia, 2003; De Benito, 2003). En este sentido, Sabariego *et al.* (2008) indican que en Getafe cuando la humedad relativa supera el 55,2% disminuyen los niveles de polen en el aire. Otros autores indican que la producción de polen de *Platanus* depende directamente de la precipitación registrada durante los meses previos a la estación polínica (Díaz de la Guardia *et al.*, 1999), o a las prácticas de riego (Gabarra *et al.*, 2002).

También el efecto de las lluvias habría afectado parcialmente al alérgeno y por ello el índice alérgico en 2010 es casi la mitad que en 2011. Otros autores indican que los alérgenos del polen son liberados durante episodios de fuertes lluvias, especialmente en tormentas por shock osmótico (Busse *et al.*, 1972; Solomon *et al.*, 1983; Rantio-Lehtimäki *et al.*, 1994). El alérgeno Pla a 1 se ha detectado con humedades relativas en torno al 60%, hecho que coincide con las observaciones de otros autores, los cuales detectan más alérgenos cuando la humedad oscila entre el 50% y el 70% (Fernández González *et al.*, 2011).

La alta evaporación de la primera quincena de abril de 2010, que no existió en los otros dos años de estudio, podría ser la responsable del retraso en la liberación de polen de *Platanus* y de Pla a 1, hecho que se ve ratificado con el valor negativo del índice de correlación.

La insolación promedio del mes de abril en Valladolid es igual en los tres años de estudio y presenta una correlación significativa positiva con el polen durante los mismos, aunque no presente relación significativa con Pla a 1. También otros autores encuentran coeficientes de correlación significativos positivos de las horas de sol con el polen de *Platanus* (Rodríguez Rajo *et al.*, 2003; Iglesias *et al.*, 2007; Sánchez Reyes, 2010; Aira *et al.*, 2010). Sin embargo, en otros estudios se indica relación negativa de la insolación con la cantidad de polen de *Platanus* detectada (Rodríguez de la Cruz, 2008), o no encuentran relación significativa con el polen de este taxón (Rodríguez Rajo, 2000).

En Valladolid se ha observado una relación positiva entre la radiación y la concentración de polen de *Platanus* en todos los años de estudio, pero no se encuentra ninguna correlación estadística con el alérgeno. La radiación por debajo de 15 MJ/m² podría ser una de las causas que impide la liberación del polen o provoca un retraso en la liberación de alérgenos del grano de polen, como se observa en el año 2010, ya que después de radiaciones recibidas por la planta superiores a 20 MJ/m², durante más de 10 días a principios de abril, se produce un descenso brusco de la radiación por debajo de 15 MJ/m², los días 14, 15 y 16 de abril, que parece retrasar los picos de polen y de Pla a 1. En otros trabajos la radiación mostró correlaciones variables de distinto signo según los años (Nieto Lugilde, 2008).

A la vista de los resultados obtenidos en el presente trabajo, se aprecia que, la velocidad del viento, en torno a 5 km/h, favorece en general un incremento en las concentraciones de polen y de alérgeno. En el mismo sentido, Sánchez Reyes (2010) observó que la velocidad del viento en Valladolid incidió de forma significativa y positiva en la concentración de polen durante el PPP. En general, valores negativos de significación pueden ser indicadores del efecto diluyente que la elevada velocidad del viento puede provocar en las concentraciones polínicas atmosféricas (Valencia-Barrera *et al.*, 2001; Rizzi-Longo *et al.*, 2007; Ščevková *et al.*, 2010) y por otro lado, vientos moderados, pero persistentes pueden ser responsables del transporte de una gran cantidad de granos de polen (Damialis *et al.*, 2005).

En Valladolid los periodos de calma son muy reducidos por ello no han permitido establecer relaciones entre ellos con las concentraciones de polen o de alérgeno. En otros trabajos se indica que la velocidad del viento y los periodos de calma influyeron poco o nada, o de distinta forma sobre el polen de *Platanus* (Rodríguez Rajo, 2000; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008). Otros investigadores señalan que la influencia positiva de los periodos de calmas sobre las concentraciones medias diarias de polen está generalmente relacionada con la proximidad de las fuentes de origen al captador (Silva *et al.*, 2007).

En este estudio el viento predominante procede del nordeste, pero no se ha observado una influencia clara de la trayectoria del viento en la presencia del polen de *Platanus*, debido a la amplia distribución de los plátanos de sombra por todo el entorno urbano, lo que concuerda con lo indicado por Sánchez Reyes (2010). Silva *et al.* (2007) han podido comprobar que el efecto, bien positivo, bien negativo, que la diferente dirección de los vientos ejerce sobre las concentraciones medias diarias de polen, no se encuentra relacionado directamente con las fuentes de origen de dichas partículas biológicas si están homogéneamente distribuidas en el entorno circundante al captador, sino con la influencia que pueden ejercer otros parámetros meteorológicos (temperatura, humedad relativa, etc.), siendo el conjunto de ellos el que realmente condiciona una mayor o menor presencia de polen aerovagante. Esto mismo es lo que ocurre en la ciudad de Valladolid.

En principio, los plátanos de sombra han sido introducidos en las ciudades por su resistencia a la contaminación urbana (Bytnerowicz *et al.* 2007), por ello en este trabajo nos planteamos estudiar cómo pueden afectar diversos contaminantes al polen y a los alérgenos de *Platanus* que se encuentran en la atmósfera.

Los resultados estadísticos de este estudio entre el polen y el alérgeno con los contaminantes muestran, en general, índices de correlación dispares cada año con casi todos ellos. En la bibliografía consultada son muy pocos los trabajos que analizan la relación entre contaminantes atmosféricos y los alérgenos y el polen de *Platanus*; por ejemplo, Cabrera (2011), en Madrid, no encuentra correlaciones significativas consistentes entre polen de *Platanus* y contaminantes, a excepción del Pla a 1 y el dióxido de azufre.

En conjunto, el material particulado PM10 y PM2,5 en el periodo de estudio no presenta ninguna estacionalidad pero su aumento o descenso coincide con el de polen de *Platanus* y de Pla a 1. El mismo paralelismo entre la distribución del polen total y el material particulado ha sido observado en la ciudad de Córdoba con correlaciones significativas entre ambos parámetros (Cariñanos *et al.*, 2007). Ello viene a corroborar que los alérgenos del polen y otras partículas biológicas de las plantas entran a formar parte del material particulado de la atmósfera, como señalan otros autores (Lu *et al.*, 2008; Shiraiwa *et al.*, 2012). Las inconsistentes correlaciones positivas entre material

particulado y polen de *Platanus* encontradas en este trabajo, a pesar de los altos índices del año 2011, que deben ser tomados con reserva por la falta de datos durante una semana, demuestran que no hay relación entre ambas variables, dado que los granos de polen no entran a formar parte del material particulado puesto que en general tienen un tamaño superior a 10 μm .

Varios investigadores han demostrado que el material particulado de la atmósfera se adhiere a la superficie del polen de diversas especies (Rezanejad *et al.*, 2003; Chehregani *et al.*, 2004; Majd *et al.*, 2004; Okuyama *et al.*, 2007; Rezanejad, 2007; Feng *et al.*, 2011; Bellanger *et al.*, 2012), y expresamente a la superficie de polen de *Platanus* (Lu *et al.*, 2014), causando modificaciones morfológicas y anomalías en la estructura del polen, que provocan la liberación del material celular, como proteínas (Ruffin *et al.*, 1983; Majd & Mohamadi, 1992; Emberlin, 1998; Chehregani *et al.*, 2004; Rezajenad, 2007). En este estudio no se puede constatar que exista una influencia del material particulado en las concentraciones de polen y de alérgeno.

Otros autores, en trabajos realizados con polen de diversas especies arbóreas ornamentales procedentes de áreas contaminadas y de áreas no contaminadas, ponen de manifiesto que la concentración total de proteínas solubles es significativamente menor en el polen de áreas contaminadas (Hjelmroos *et al.*, 1994; Parui *et al.*, 1998; Rezanejad *et al.*, 2003; Majd *et al.*, 2004; Rezanejad, 2007, 2009). Contrariamente, Suárez-Cervera *et al.* (2008a) encuentran mayores concentraciones de Cup a 3 en polen de cipreses de áreas contaminadas como respuesta de defensa de la planta.

Se ha demostrado que las partículas emitidas por vehículos diesel son capaces de inducir en el polen la producción de nuevas proteínas alergénicas (Behrendt *et al.*, 1997; Chehregani & Kouhkan, 2008).

El polen atmosférico expuesto a contaminantes como el ozono puede posiblemente sufrir modificaciones en el contenido y estructura de sus proteínas. Es conocido que el ozono provoca daño en la membrana celular y puede incluso causar desconexión de los orgánulos celulares (Black *et al.*, 2000; Wheeler *et al.*, 2001; Omasa *et al.*, 2002). El ozono y otros contaminantes atmosféricos pueden interferir tanto en los mecanismos celulares como en la expresión genética (Treshow & Anderson, 1989; Koch *et al.*, 1998; Kangasjärvi *et al.*, 2005) y a nivel molecular tienen relativamente, un fuerte papel oxidativo que afecta a biomoléculas como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos, interfiriendo en la germinación del polen (Chichiriccò, 2000; Roshchina & Mel'nikova, 2001; Omasa *et al.*, 2002).

Se ha demostrado *in vitro* que el ozono tiene efectos significativos sobre el polen causando una disminución de las proteínas solubles. La exposición de polen de *Platanus* a niveles ambientales de ozono fue suficiente para inducir un significativo descenso en el contenido de proteínas (Ribeiro *et al.*, 2013, 2014).

También se ha señalado un descenso de proteínas solubles presentes en el polen de otras especies arbóreas en presencia de ozono (Cuinica *et al.*, 2013).

Los resultados obtenidos en esta Tesis Doctoral muestran que, durante varios días en los tres años de estudio, coincide una brusca disminución de la concentración de ozono con concentraciones elevadas o picos de Pla a 1, corroborado por una significativa y negativa relación observada estadísticamente. El daño oxidativo del ozono podría haber alterado la proteína Pla a 1 resultando un menor reconocimiento por los anticuerpos empleados en el ELISA, y un menor daño oxidativo en los momentos puntuales de descenso de la concentración de ozono podría explicar una mayor detección del alérgeno.

En cualquiera de los casos hay que tener presente las complejas reacciones fotoquímicas existentes en la atmósfera que pueden influir en el desplazamiento del equilibrio químico en la formación y destrucción del ozono. En este sentido se ha observado, en Valladolid, que los días de disminución de ozono también se observa descenso de la insolación y la radiación así como un aumento de los óxidos de nitrógeno.

Se han realizado diversos trabajos exponiendo *in vitro* granos de polen de distintos taxones arbóreas a concentraciones de dióxido de nitrógeno, en niveles por debajo de los valores aceptables para la protección de la salud humana en Europa, obteniendo resultados dispares en cuanto a los contenidos de proteínas solubles totales. Unos autores indican que aumenta el contenido de proteínas solubles (Sousa *et al.*, 2012) y otros indican que se disminuye significativamente (Bist *et al.*, 2004; Cuinica *et al.*, 2014a)

También son muchos los trabajos que demuestran que el dióxido de nitrógeno disminuye significativamente la viabilidad y germinación del polen tanto *in vitro* como en polen procedente de zonas contaminadas (Sikka *et al.*, 2008; Amjad & Shafighi, 2012; Cuinica *et al.*, 2014a), ya que el dióxido de nitrógeno y sus derivados nitrogenados tienen facilidad para unirse a proteínas interfiriendo en el desarrollo del tubo polínico (White *et al.*, 1968; Harrison & Feder, 1974; Chichiriccò, 2000; Roshchina & Mel'nikova, 2001; Wheeler *et al.*, 2001; Bell & Treshow, 2002; Omasa *et al.*, 2002; Brown & Borutaite, 2004; Elagoz & Manning, 2005; Chichiriccò & Picozzi, 2007). También se han observado proteínas nitradas tras ser expuestas a contaminantes atmosféricos (Franze *et al.*, 2005; Gruijthuijsen *et al.*, 2006; Shiraiwa *et al.*, 2012).

En este trabajo, en conjunto, la presencia estacional de polen de *Platanus*, Pla a 1 y óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) tuvo un comportamiento similar. Las correlaciones significativas y positivas del aeroalérgeno Pla a 1 con el monóxido de nitrógeno y con el dióxido de nitrógeno nos llevan a pensar que estos contaminantes podrían favorecer la mayor presencia de este alérgeno en la atmósfera y refrendaría los experimentos descritos por los investigadores precedentes.

En relación al SO₂, en este trabajo se observan índices de correlación bajos entre el dióxido de azufre y el polen y ningún coeficiente significativo con el alérgeno. Varios estudios señalan que la exposición in vitro de polen de plantas arbóreas a diversas concentraciones de SO₂, incluso por debajo de valores seguros para la salud humana provoca un descenso general en el contenido total de proteínas solubles (Bist *et al.*, 2004; Sousa *et al.*, 2012; Cuinica *et al.*, 2013, 2014b).

Los escasos o nulos resultados con el monóxido de carbono y el benceno indican que no hay relación de ellos con el polen y el alérgeno de *Platanus*, al menos una vez que el polen ha sido emitido a la atmósfera.

2. Tipo polínico Poaceae

El polen de gramíneas es el polen de plantas herbáceas más frecuente en Valladolid, lo que coincide con los resultados obtenidos por otros investigadores (Sánchez Reyes, 2010; RACYL, <http://www.saludcastillayleon.es/ciudadanos/es/polen/>) y en otras muchas ciudades de la Península Ibérica (Cariñanos *et al.*, 2004; García-Mozo *et al.*, 2010; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011) debido a la amplia distribución de la familia Poaceae en España con aproximadamente 420 especies de gramíneas (García Rollán, 1985).

En Valladolid alcanzó un promedio del 7,7% del polen total en el periodo de estudio. Datos similares han sido publicados para Lleida, Motril, Vigo, Lugo, Madrid, Aranjuez y Toledo (Latorre & Belmonte, 2004; Nieto Lugilde, 2008; Jato *et al.*, 2009; Fernández-Llamazares *et al.*, 2014) pero mucho menores para Barcelona, Girona y Tarragona (Latorre & Belmonte, 2004; Fernández-Llamazares *et al.*, 2014). En cambio, en otras ciudades los porcentajes de polen de gramíneas en relación al polen total son superiores, como en Santander, Ponferrada, León, Salamanca, Cáceres, Lugo, Orense, Cuenca (Benito-Rica & Soto Torres, 2001; Paulino *et al.*, 2002; Vega-Maray *et al.*, 2002a,b; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2003; Fernández González *et al.*, 2011). Fernández González *et al.* (1999) señalan que los recuentos de polen de gramíneas son más altos en el centro y noroeste de la Península que en el sur y oeste. También en otras ciudades de Portugal, Hungría y Australia se han registrado porcentajes mayores (Ribeiro *et al.*, 2003; Green *et al.*, 2004; Makra & Matyasovszky, 2011; Makra *et al.*, 2011).

En Valladolid, en el periodo de estudio, se ha observado un incremento del polen de Poaceae, si bien hay que indicar que es un periodo de tiempo muy corto. En estudios que incluyen varios años se han observado tendencias de incremento de las concentraciones totales de polen de gramíneas en ciudades españolas como Salamanca, Málaga y Córdoba (García-Mozo *et al.*, 2010; Rodríguez de la Cruz, 2008; Recio *et al.*, 2010; García Sanchez, 2012) y de otros

países como Suecia, Italia, Polonia y Austria (El-Ghazaly *et al.*, 1993; Voltolini *et al.*, 2000; Puc & Puc, 2004; Bortenschlager & Bortenschlager, 2005), aunque también se han detectado descensos de la concentración total de polen de gramíneas, en ciudades de Cataluña y Galicia (Latorre & Belmonte, 2004; Jato *et al.*, 2009) y de otros países como Reino Unido, Bélgica y Croacia (Emberlin *et al.*, 1993; Detandt & Nolard, 2000; Peternel *et al.*, 2006).

Por otro lado, si en Valladolid tenemos en cuenta un periodo más largo, de 9 años, desde el año 2005 hasta el año 2013 (RACYL), no se aprecia ninguna tendencia, lo que también se ha indicado en otros trabajos, con amplios periodos de estudio (Spiexsma & Nikkels, 1998; Leuschner *et al.*, 2000; Clot, 2003; Piotrowska & Weryszko-Chmielewska, 2003; Spiexsma *et al.*, 2003; Puc & Puc, 2004; Bortenschlager & Bortenschlager, 2005; Peternel *et al.*, 2006). Estos autores argumentan que las tendencias son debidas a cambios en el clima y a las condiciones meteorológicas de cada localidad, si bien para observar variaciones climáticas se requieren periodos de estudio de 30 años, tal y como recomienda la Organización Meteorológica Mundial (Nafría *et al.*, 2013).

En algunos casos, la estación polínica de gramíneas se caracteriza por dos periodos de altas o relativamente altas concentraciones, separados por un periodo de baja concentración (Sousa *et al.*, 2008; Kasprzyk & Walanus, 2010). Los picos o los diversos periodos se atribuyen al gran número de especies de gramíneas, todas ellas incluidas en un único tipo polínico, que emiten polen en diferentes momentos debido a la distinta fenología (Prieto-Baena *et al.*, 2003).

En este trabajo se pone de manifiesto que los meses de mayo, junio y julio son los de mayor presencia de polen de gramíneas en Valladolid. Diversos autores coinciden en que las concentraciones más altas de gramíneas ocurren en mayo y principios de junio en el área mediterránea de la Península Ibérica y entre la tercera semana de junio y la segunda quincena de julio en el área atlántica (Fernández-González *et al.*, 1999; Jato *et al.*, 2009; Recio *et al.*, 2010; García Sánchez, 2012). Esto también ha sido observado en otras ciudades como Lublin, Atenas, Zagreb y Tetuan (Piotrowska *et al.*, 2003; Syrigou *et al.*, 2003; Peternel *et al.*, 2006; Aboulaich *et al.*, 2012).

En Valladolid se observa polen de Poaceae durante prácticamente todo el año y una gran variabilidad en la distribución en los distintos años, lo que también ocurre en varias ciudades españolas (González-Minero *et al.*, 1998; Fernández-González *et al.*, 1999; Latorre & Belmonte, 2004; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008; Jato *et al.*, 2009; Alba-Sánchez *et al.*, 2010; Recio *et al.*, 2010; García Sánchez, 2012).

Las mayores cantidades totales de polen de gramíneas registrados en Valladolid en 2010 y 2011 con respecto a 2009 pueden ser debidas a las mayores precipitaciones ocurridas durante el final del invierno y principios de la primavera de esos dos años. Otros autores también indican la importancia de la disponibilidad de agua para las gramíneas, siendo importantes las lluvias de los

meses previos a la estación polínica en el inicio del periodo polínico principal y en las concentraciones de polen (Rodríguez de la Cruz *et al.*, 2003; Sánchez-Mesa *et al.*, 2003, 2005; Clary *et al.*, 2004; García-Mozo *et al.*, 2009, 2010; Smith *et al.*, 2009; Alba-Sánchez *et al.*, 2010; Cariñanos *et al.*, 2010; León Ruiz *et al.*, 2011).

La duración media del PPP de gramíneas en Valladolid ha sido de 163 días, aunque en 2009 fue mayor.

En este trabajo se han registrado 15 y 20 días con niveles de polen moderados o altos en 2010 y 2011 respectivamente. En cambio, se han citado más de 50 días de niveles moderados o altos al año en diversas ciudades españolas como Lugo, Santiago de Compostela, Vigo, Orense, León, Madrid, Badajoz, Jaén, Estepona, Córdoba, Huelva y Sevilla (Fernández-González *et al.*, 1999; García-Mozo *et al.*, 2010, Jato *et al.*, 2009; Fernández Rodríguez, 2014). Por otro lado, son muchos los estudios epidemiológicos realizados que han intentado establecer una concentración umbral de polen de gramíneas en la atmósfera relacionada con el desencadenamiento de síntomas en pacientes sensibilizados, habiéndose publicado distintos umbrales (30-50 granos de polen/m³) (Galán *et al.* 2003; Tobías *et al.*, 2004; Erbas *et al.*, 2007). Es difícil encontrar una concentración determinada de polen que induzca síntomas (umbral clínico), como si es posible en el caso de los contaminantes atmosféricos (Cecchi, 2013) debido a que el umbral clínico depende de la sensibilidad de las personas y varía en las diferentes áreas geográficas y entre los diferentes taxones de polen (De Weger *et al.*, 2013).

Todas las diferencias entre el porcentaje de polen de Poaceae sobre el polen total, el índice polínico y su tendencia a lo largo de los años, la distribución del polen, la duración del PPP, son un reflejo de las distintas características biogeográficas y condiciones meteorológicas y contaminantes de la atmósfera en cada ciudad.

En este trabajo se han detectado los alérgenos Lol p 1 y Lol p 5 principalmente desde el 20 de mayo al 4 de junio. Cabe mencionar que son muy pocos días los que se detecta Lol p 1 (16 días de media) en comparación con los días en los que se detecta Lol p 5 (50 días de media). Otros autores detectan alérgenos de los grupos 1 o 5 de gramíneas durante muchos días en las ciudades de Granada, Ciudad Real, Madrid, Orense, León, y Málaga (De Linares *et al.*, 2010; Feo Brito *et al.*, 2010; Cabrera, 2011; Fernández González *et al.*, 2011; García Sánchez, 2012).

Las concentraciones de Lol p 1 y Lol p 5 disminuyen a partir de junio en Valladolid, en concordancia con la disminución de la presencia de *Lolium* sp., lo que también ocurre en Málaga para Lol p1, en Madrid para Phl p 1 y Phl p 5 y en León para Phl p 5 (Cabrera, 2011; Camazón *et al.*, 2014). Hay que tener en cuenta que el rango de sensibilidad del ELISA requiere altas concentraciones de los alérgenos de estas plantas en la atmósfera para poder ser detectados (García Sánchez, 2012).

Los días pico de alérgenos de Poaceae en Valladolid se han registrado en la segunda quincena de mayo y primeros días de junio, al igual que en Ciudad Real, Granada, Madrid y Málaga (De Linares, 2007; De Linares *et al.*, 2010; Feo Brito *et al.*, 2010; Cabrera, 2011; García Sánchez, 2012), y a diferencia de en León y en Orense que han ocurrido en la segunda quincena de junio o la primera de julio (Fernández González *et al.*, 2011; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011). En Valladolid el día de mayor concentración de alérgeno con 1743 pg/m³, correspondió a Lol p 1; picos próximos a 2000 pg/m³ también se citan en Orense (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011).

En este estudio se han detectado mayores concentraciones de Lol p 1 que de Lol p 5; esto es coincidente con lo detectado en León (Com. Pers. Fernández-González) y para Phl p 1 y Phl p 5 en Madrid (Cabrera, 2011). Además, es concordante con el hecho de que en el interior del grano de polen de gramíneas hay mayor cantidad de proteínas correspondientes al grupo 1 que al grupo 5 (Com. Pers. Asturias).

Las concentraciones de alérgenos totales registradas en los distintos años, así como las de los días pico son similares a las indicadas para otras ciudades españolas, salvo en el caso de Granada, dónde se alcanzan cantidades de hasta 1000 veces superiores, no comparable porque emplean anticuerpos policlonales que proporcionan mayor sensibilidad frente a un alto número de taxones y un método de captación diferente (De Linares *et al.*, 2010).

Las ratios alérgeno/polen encontrada en este trabajo, 2,64 para Lol p 1 y 1,63 para Lol p 5, son similares a la citada para Ole e 1 en Évora e inferiores a las encontradas para Ole e 1 en Córdoba, para Bet v 1 en varios países europeos y para Lol p 1 en Orense y León (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011; Buters *et al.*, 2012; Galán *et al.*, 2013). Sin embargo se han encontrado ratios alérgeno/polen muy diferentes en cada año y en diferentes países europeos (Buters *et al.*, 2012).

Se observa en este trabajo que las mayores concentraciones de los alérgenos de gramíneas coinciden con concentraciones importantes de polen de Poaceae, por lo que ese periodo podría considerarse como periodo de riesgo para los alérgicos al polen de gramíneas en la ciudad de Valladolid. Los resultados de este trabajo demuestran una dinámica paralela entre los alérgenos y el polen de gramíneas durante el periodo polínico lo que concuerda con otros estudios similares (Spieksma *et al.*, 1991, 1995; Schäppi *et al.*, 1996; Cabrera *et al.*, 2002; De Linares, 2007; De Linares *et al.*, 2010, Cabrera, 2011; García Sánchez, 2012; Camazón *et al.*, 2014).

Pero en Valladolid, también existen periodos en los que los recuentos de polen de gramíneas son importantes sin haberse detectado alérgenos. Sin embargo, otros autores detectan concentraciones de Lol p 1 cuando casi no hay polen de gramíneas en la atmósfera (Fernández Gonzalez *et al.* 2008a, 2011; Feo Brito *et al.*, 2010), o antes y después del periodo polínico principal (Cabrera *et al.*, 2002), argumentando que alergenos homólogos a los del grupo I, que se

encuentran en otras partes de la planta (como hojas y estigma) pueden ser emitidos a la atmósfera, ya que Lol p 1 es una β -expansina y por posibles episodios de reactividad cruzada.

Ambos alérgenos presentan entre sí una correlación significativa positiva moderada, y Lol p 5 presenta un mayor índice de correlación con el polen de gramíneas que Lol p 1. Esto también se ha demostrado en otros estudios donde se han observado correlaciones positivas entre Lol p 1 y polen de Poaceae con unos coeficientes moderados, similares a los de este trabajo (De Linares *et al.*, 2010; Cabrera, 2011; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011; García Sánchez, 2012) o con coeficientes altos (Fernández Gonzalez *et al.*, 2011) o con coeficientes muy bajos (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011). Ladeira *et al.* (2011) encuentran en Évora correlaciones positivas entre polen de gramíneas y Phl p 5.

El hecho de que en el año 2009 se detectan cantidades mucho menores de Lol p 1 y de Lol p 5, con respecto a las detectadas en el año 2010, podría explicarse porque hay mucha menor cantidad de polen de Poaceae en 2009, pero en cambio en el año 2011 con mayor cantidad de polen de Poaceae que en 2010 se detecta poca cantidad de Lol p 5 y no se detecte Lol p 1. La posible explicación se comentará más adelante.

Debido a la importante influencia de las condiciones meteorológicas en la producción y liberación de polen, así como en su dispersión y transporte, numerosos autores han analizado la relación entre diferentes parámetros meteorológicos y la evolución del polen de gramíneas en la atmósfera.

En la atmósfera de Valladolid se ha demostrado estadísticamente una importante influencia positiva de todas las variables de temperatura, la evaporación, la insolación y la radiación y negativa de la humedad relativa con el polen de gramíneas. Menor es la influencia que ha tenido la velocidad del viento y la dirección suroeste de forma positiva y de las precipitaciones de forma negativa.

En este trabajo se observa estadísticamente que el polen de gramíneas tiene una baja relación positiva con el ozono y el dióxido de azufre y negativa con los óxidos de nitrógeno.

En general, los alérgenos de gramíneas no presentan relación estadística homogénea con los parámetros meteorológicos ni con los contaminantes atmosféricos.

Al igual que en este estudio otros autores encuentran escasas correlaciones de los alérgenos con los parámetros meteorológicos. De Linares *et al.* (2010) indican que, en Granada, Lol p 1 presentó en Granada correlación negativa con la temperatura mínima y ello no dependía de la humedad, ni de la dirección del viento o la insolación. García Sánchez (2012) ha encontrado influencia de las temperaturas y del viento, tanto de la velocidad como de la dirección, en las concentraciones de Lol p 1.

Son muchos los trabajos que correlacionan positivamente las temperaturas con las concentraciones de polen de gramíneas en otras ciudades españolas (Recio, 1995; Alba, 1997; González *et al.*, 1998; Rodríguez-Rajo, 2000; Hervés García, 2005; De Linares, 2007; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008; Sabariego *et al.*, 2008; Cariñanos *et al.*, 2010; Recio, 2010, García Sánchez, 2012), destacando la mayor influencia de la temperatura máxima, considerando que es la principal variable meteorológica que influye en la apertura de las anteras y emisión del polen a la atmósfera en las regiones templadas (Fernández-González *et al.*, 1999, 2011; García Mozo *et al.*, 2009; Jato *et al.*, 2009).

La temperatura media de 20°C y temperatura de punto de rocío en torno a los 10°C parecen óptimas para el incremento de las concentraciones de alérgenos y polen en Valladolid y los descensos bruscos en las temperaturas coinciden con descensos en los niveles de polen y alérgenos. Esto mismo ha sido señalado por Fernández Rodríguez *et al.* (2014), que señalaron que las máximas concentraciones de polen de gramíneas se aprecian con temperaturas entre 17°C y 21°C.

En el presente estudio, también se ha observado en este estudio el efecto de arrastre o “lavado” de la lluvia que conlleva menores recuentos de polen, efecto que ha sido referido por numerosos autores (Frei, 1998; Tormo *et al.*, 2010). Sin embargo en Valladolid no se ha podido demostrar que los días de lluvia tengan un efecto de barrido tan intenso de ambos aeroalérgenos. Así, en el año 2010, en el que las precipitaciones registradas están muy por encima de los valores medios para Valladolid (372 mm (Rivas Martínez *et al.*, 2007) o 389 mm (Nafría *et al.*, 2013), se presenta un índice alérgico muy elevado en comparación con el de los otros dos años del estudio.

Son diversos los trabajos que relacionan las tormentas con episodios de asma (Suphioglu *et al.*, 1992; Knox, 1993; Davidson *et al.*, 1996; Anderson & Prescott, 2001; D'Amato *et al.*, 2007, 2008), pero también la lluvia puede ser un factor que actúe favoreciendo la presencia de alérgenos en la atmósfera. En este sentido se ha demostrado un incremento atmosférico de alérgenos del polen los días de lluvia fina, tanto para el polen de gramíneas (Schäppi *et al.*, 1999) como para el de abedul (Schäppi *et al.*, 1997). También se ha demostrado la presencia de Ole e 1 en el agua de lluvia (García Sánchez, 2012) y una repercusión real sobre los asmáticos en un estudio epidemiológico que relaciona las asistencias de urgencias por asma con la presencia de polen conjuntamente con la lluvia (Lewis *et al.*, 2000).

Las concentraciones de Lol p 1 más elevadas se registraron en 2010 cuando la humedad relativa estaba en torno al 60% siendo las cantidades del año 2009 inferiores cuando la humedad oscila entre el 40 y 50%. También el porcentaje de humedad relativa más favorable para Lol p 5 parece ser del 60%. Por ello, en zonas de clima continental, valores por debajo del 60% podrían ser insuficientes para rehidratar el grano de polen y expulsar sus proteínas. Algunos autores indican que el aumento de la humedad relativa tras las lluvias

favorece la liberación de los alérgenos de gramíneas (Taylor *et al.*, 2002). Fernández González *et al.* (2011) indican que las concentraciones de Lol p 1 son más elevadas cuando la humedad está por debajo del 70% independientemente de la temperatura. Las correlaciones significativas y negativas de las concentraciones de polen de gramíneas con la humedad relativa encontradas en este trabajo corroborarían la explicación de un rango de humedad relativa entre el 50% y el 60% para que se vea favorecida la liberación de alérgenos a la atmósfera.

Los picos y concentraciones más elevadas de ambos alérgenos en 2010 se corresponden con una evaporación de unos 6 mm. Sin embargo, una menor evaporación en 2009 (4 mm) los días de mayores concentraciones podría ser otra de las razones de menores cantidades de alérgenos liberados ese año.

La radiación recibida en 2009 y 2011 en Valladolid fue similar a la media indicada por Sancho-Ávila *et al.*, (2012) y Nafría *et al.*, (2013) y menor durante 2010. La distribución mensual de la radiación es similar a la indicada para el periodo 1983-2005 por Sancho-Ávila *et al.*, (2012), siendo más elevada los meses de mayo, junio, julio y agosto. En este estudio se comprueba que una radiación de unos 30 MJ/m² fue óptima para que se alcanzasen mayores concentraciones de alérgenos y polen de gramíneas; este hecho vendría corroborado con correlaciones positivas con índices moderados altos en relación con el polen y bajos en relación con los alérgenos.

En este estudio se ha observado que una velocidad del viento moderada (de unos 8 km/h) favorece el incremento de polen de gramíneas. También, la elevada velocidad del viento procedente mayoritariamente de una sola dirección, en este caso el suroeste, puede disminuir drásticamente los recuentos de polen y la detección de alérgenos. Sánchez Reyes (2010) ya había indicado que en Valladolid el viento procedente del sur ejerce una influencia positiva en las concentraciones atmosféricas de polen de Poaceae, entre otros.

Aunque se observan paralelismos gráficos entre los picos de polen y de alérgenos con los de material particulado (PM10 y PM2,5), estadísticamente se muestra una escasa relación entre ellos, si bien es conocido que los alérgenos de gramíneas están presentes en la atmósfera en la fracción de menos de 2,5 µm, denominadas partículas finas o PM2,5 (Takafuji *et al.*, 1989; Spieksma *et al.*, 1990; Knox *et al.*, 1997).

También se aprecia una distribución similar de los picos de óxidos de nitrógeno y los de polen y alérgenos. La consistente correlación negativa del polen de gramíneas con ambos óxidos, durante los tres años de estudio, parece indicar una influencia negativa de estos contaminantes sobre los recuentos de polen de gramíneas pero ninguna influencia sobre los alérgenos. En este sentido varios investigadores han indicado que la disponibilidad de nitrógeno podría limitar la producción de la proteína Phl p 5 (Townsend *et al.*, 2003; Leakey *et al.*, 2009).

Respecto al ozono, que es un fuerte oxidante conocido que degrada fácilmente ácidos grasos y provoca la aparición de nuevas bandas de proteínas (Roshchina & Roshchina, 2003), se ha puesto de manifiesto que la exposición in vitro de *Lolium perenne* a ozono ha provocado la reducción de la cantidad de polen viable al impedir la maduración del mismo mediante la reducción del contenido de almidón en las anteras y el aumento del contenido de proteínas del grupo 5 en el polen (Masuch *et al.*, 1997; Schoene *et al.*, 2004). El ozono también disminuye la viabilidad in vitro del polen de *Phleum pratense* por alteración de la membrana celular, que conllevaría mayor liberación de alérgenos (Motta *et al.*, 2006; Rogerieux *et al.*, 2007).

En este trabajo, a priori no parece que el ozono interfiera de forma general sobre estos bioaerosoles, pero llama la atención el distinto comportamiento de los dos alérgenos. Por un lado, los mayores registros de Lol p 1 se observan indistintamente con concentraciones altas y bajas de ozono, pero con Lol p 5 es diferente ya que concentraciones bajas de ozono favorecen mayores concentraciones del alérgeno, aunque sin relación estadística pues sucede en momentos puntuales. Esto se podría explicar por la acción oxidativa del ozono, de forma que cuando hay concentraciones elevadas de ozono, éste afecta a las proteínas detectándose menor cantidad de las mismas, mientras que cuando ocurre un descenso puntual en la concentración de ozono el alérgeno sufre una menor acción detectándose mayores concentraciones. A este respecto, Albertine *et al.* (2014) han demostrado in vitro que concentraciones de 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de ozono disminuyen las concentraciones de Phl p 5 por inflorescencia y por grano de polen, efecto que se potencia si a la vez hay niveles elevados de CO_2 , concluyendo que mientras elevados niveles de ozono podrían aumentar la irritación de las vías aéreas humanas, niveles más bajos de ozono podrían significar mayores niveles de Phl p 5 y esto puede ocurrir fácilmente en otras taxa de gramíneas de la subfamilia Pooideae. Este distinto efecto oxidativo del ozono sobre Lol p 1 y Lol p 5 podría ser debido a que son proteínas diferentes.

El hecho de que en el año 2011 se detectara poca cantidad de Lol p 5 y no se detectara Lol p 1, a pesar de ser el año con mayores concentraciones de polen de gramíneas, podría explicarse porque durante los meses de mayor presencia de polen de Poaceae, es decir, mayo, junio y julio, las concentraciones medias mensuales de dióxido de azufre duplican a las concentraciones de los mismos meses de 2010. Estadísticamente hay una correlación negativa entre el dióxido de azufre y Lol p5 en el PAP de 2011.

Por otra parte, se ha demostrado que los contaminantes atmosféricos pueden incrementar o disminuir el contenido total de proteínas del polen (Sousa *et al.*, 2012). Así, entre los contaminantes gaseosos, el dióxido de azufre (SO_2) tiene un efecto inhibitor sobre la liberación de alérgenos, mientras que las partículas de emisiones diesel, en general, provocan la activación del polen induciendo la liberación de alérgenos (Behrendt & Becker, 2001). La exposición del polen de *Phleum pratense* a altas concentraciones de SO_2 provoca una significativa reducción de la liberación del alérgeno mayor, Phl p 5 (Behrendt *et*

al., 1997). De hecho, la exposición in vitro de distintos tipos de polen a concentraciones de SO₂, incluso por debajo de valores seguros para la salud humana, han mostrado un descenso general en el contenido total de proteínas solubles (Sousa *et al.*, 2012; Cuinica *et al.*, 2013, 2014b). Todo esto nos lleva a pensar que las elevadas concentraciones de dióxido de azufre detectadas en Valladolid durante los meses de mayo, junio y julio de 2011 han podido inhibir la liberación de los alérgenos Lol p 1 y Lol p 5, a pesar de haberse registrado elevadas concentraciones de polen de Poaceae ese año.

3. Tipo polínico Urticaceae

El polen de Urticaceae ocupa el segundo lugar en importancia dentro de los tipos polínicos correspondientes a plantas herbáceas en Valladolid, lo que es coincidente con lo indicado por otros investigadores (Sánchez Reyes, 2010; RACYL, <http://www.saludcastillayleon.es/ciudadanos/es/polen/>).

En Valladolid este tipo polínico alcanzó el 2,7% del polen total registrado en el periodo de estudio. En ciudades cercanas como Ponferrada y Salamanca el porcentaje es similar al de Valladolid (Vega Maray, 2002; Rodríguez de la Cruz, 2008). Valores menores han sido observados en Málaga (Melgar, 2010) y mayores en otras ciudades peninsulares como Cartagena y Orense (Jato *et al.*, 2010). Los porcentajes de polen de urticáceas más elevados en la Península Ibérica corresponden a Vigo con el 28% (Rodríguez-Rajo, 2000; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2004) y a Motril con el 41% (Nieto Lugilde, 2008), siendo superado en el noreste europeo con valores en torno al 47% (Stefanic *et al.*, 2007).

El índice polínico anual de Valladolid es similar o algo inferior al de ciudades de interior como Ponferrada, León, Salamanca y Toledo (Vega Maray, 2002; Rodríguez de la Cruz, 2008; Pérez-Badia *et al.*, 2010; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011) y es, en general, más bajo que en ciudades del litoral tanto atlántico como mediterráneo, destacando los índices polínicos de Vigo y Nerja que alcanzan un valor de 8500, o de Motril que supera los 20000, ya que en dichas ciudades costeras y debido a la alta humedad, la presencia de comunidades vegetales con urticáceas es mayor (Fernández-González, 1990; González Minero *et al.*, 1997; Toro *et al.*, 1997; Fernández-Casado *et al.*, 2000; Recio *et al.*, 2000; Rodríguez-Rajo, 2000; Hervés García, 2005; Moreno-Grau *et al.*, 2006; Docampo, 2008; Nieto Lugilde, 2008; Jato *et al.*, 2010; García Sánchez, 2012).

El polen de urticáceas aparece durante todo el año en la atmósfera de Valladolid, aunque se observa una mayor presencia durante los meses de abril a septiembre. Similar comportamiento se ha descrito en otras ciudades españolas (González Minero *et al.*, 1997; Toro *et al.*, 1997; Rodríguez-Rajo, 2000, Vega Maray, 2002; Luengo & Cadahía, 2003; Vega-Maray *et al.*, 2003a, Hervés García, 2005; Moreno-Grau *et al.*, 2006; Jato *et al.*, 2008; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez

de la Cruz, 2008; Alcázar *et al.*, 2009; Melgar, 2010; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011; García Sánchez, 2012).

El promedio de duración del PPP de Urticaceae en Valladolid ha sido de 158 días, siendo más prolongado en 2009 que en 2010 y 2011. La duración del PPP en Valladolid es similar a Ponferrada (Vega Maray, 2002), por el contrario, en otras ciudades, es superior a 200 días como en Vigo, Málaga, Motril, Toledo, Salamanca y Murcia (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2004; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008; Melgar, 2010; Pérez-Badía *et al.*, 2010) y en ciudades como Málaga el PPP dura unos 327 días (García Sánchez, 2012). En Sevilla el PPP dura entre 8 y 24 semanas ya que hay una relación con la precipitación (González Minero *et al.*, 1997).

En este trabajo, en Valladolid, los días de mayores concentraciones de polen de urticáceas aparecen en meses distintos cada año y, durante los tres años de estudio, únicamente un día se supera el nivel alto (según ha establecido la REA) de 30 granos de polen/m³, debido a la variación de los parámetros meteorológicos en los distintos años. En otras ciudades españolas, el día pico de polen de Urticaceae aparece indistintamente en cualquiera de los meses de máximas concentraciones, es decir, junio, julio o agosto. También se observan pocos o ningún día con niveles altos de polen de Urticaceae en otras ciudades como Ponferrada, Santiago de Compostela, Cartagena, Málaga (Vega Maray, 2002; Hervés García, 2005; Recio *et al.*, 2009; Jato *et al.*, 2010; Melgar, 2010; García Sánchez, 2012). Sin embargo, son muchos los días con niveles altos tanto en ciudades de interior como en ciudades costeras, por ejemplo, Lugo, Orense, Ponferrada, Barcelona, Girona y Tarragona (Luengo & Cadahía, 2003; Vega-Maray *et al.*, 2003a; Hervés García, 2005; Jato *et al.*, 2010), llegando a superar las dos terceras partes del año en Vigo (Jato *et al.*, 2008).

Galan *et al.*, (2000) encuentran día pico en octubre, lo que se corresponde con la segunda floración de *P. judaica* y las concentraciones de polen son muy bajas en agosto por las elevadas temperaturas. También se indican recuentos mínimos durante los meses estivales en Málaga (Melgar, 2010). Sin embargo en ciudades más septentrionales como Ponferrada y León o ciudades del norte de Europa las mayores concentraciones se registran en julio y agosto (Vega-Maray, 2002; Crimi *et al.*, 2004; Rizzi-Longo *et al.*, 2004; Alcazar *et al.*, 2009).

Los escasos días de detección del alérgeno Par j 1-2 en Valladolid puede ser debido a las bajas concentraciones diarias de polen de urticáceas y sobre todo a que *Parietaria* es una planta poco abundante en esta ciudad y lo que predomina es el género *Urtica* donde dicha proteína está en muy baja concentración (Vega Maray *et al.*, 2004, 2006). Algunos autores indican que para detectar este alérgeno se requiere que en el aerosol haya un mínimo de 30 granos de polen/m³ (Moreno-Grau *et al.*, 2006). Sin embargo en Valladolid se detectan pequeñas cantidades de Par j 1-Par j 2 con concentraciones de polen por debajo de 15 granos de polen/m³, al igual que en otros estudios (García Sánchez, 2012).

El mayor índice alergénico de 2010 con respecto a 2009 y 2011 en Valladolid puede ser debido a la elevada concentración de alérgeno detectada cuando los valores de polen superan los 30 granos de polen/m³ y por la posible influencia de algún parámetro meteorológico que ese año pudiera haber favorecido la proliferación de *Parietaria*.

Las concentraciones de alérgeno en los días picos de 2009 y 2011 son mayores que las registradas en Málaga y menores que en Cartagena y Orense, si bien la cantidad detectada en Valladolid el día pico de 2010, es muy superior a las registradas en esas ciudades (Jato *et al.*, 2010; García Sánchez, 2012).

En Valladolid se encuentran ratios alérgeno polen muy dispares cada año de estudio, con un promedio para los tres años de 0,78. Rodríguez-Rajo *et al.*, (2011) referencian ratios de 0,15 en Ourense y de 1,25 en Cartagena, destacando que las menores concentraciones de polen detectadas en Cartagena se corresponden con mayores concentraciones de alérgeno comparado con lo sucedido en Orense. En Málaga la ratio promedio de tres años es de 0,37, la mitad que en Valladolid (García Sánchez, 2012).

En Valladolid, las distribuciones estacionales de polen y de aeroalérgeno presentan fluctuaciones diferentes e índices de correlación bajos en 2009. Esta falta de relación entre polen y alérgenos podría ser debida a que en los recuentos de polen se incluyen algunas especies de *Urtica* y de *Parietaria judaica* y la cuantificación de alérgenos solo refleja las especies de *Parietaria*.

Estas fluctuaciones y la baja relación estadística ha sido puesta de manifiesto por otros autores (Jato *et al.*, 2010; García Sánchez, 2012). Por el contrario, otros investigadores encuentran fluctuaciones similares e índices de correlación altos, si bien han utilizado estadísticos diferentes a los del presente trabajo (Moreno-Grau *et al.*, 2006).

En la familia Urticaceae la liberación del polen esta regida por un mecanismo explosivo. Los granos de polen son activados inmediatamente al entrar en contacto con el estigma o sobre un medio húmedo, durante los primeros minutos de la hidratación, provocando una liberación rápida de los alergenos.

En este trabajo se demuestra que las temperaturas tienen una importante influencia sobre las concentraciones de polen de Urticaceae, con índices de correlación positivos moderados o altos, como también han puesto de manifiesto algunos autores en otras ciudades de todo el mundo (González Minero *et al.*, 1997; Galán *et al.*, 2000; Vega-Maray, 2002; Vega-Maray *et al.*, 2003a; Rizzi-Longo *et al.*, 2004; Hervés García, 2005; Tejera & Beri, 2005 ;Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008; Sánchez-Reyes, 2010; Scevková *et al.*, 2010; García Sánchez, 2012). Contrariamente, en Córdoba y en Málaga se han obtenido coeficientes negativos, ya que *Parietaria* puede florecer en otoño y en invierno a bajas temperaturas (Galán *et al.*, 2000; Alcázar *et al.*, 2009; García Sánchez, 2012).

En Valladolid, el mayor índice polínico obtenido en 2011 en relación al año 2010 se podría explicar por las temperaturas más elevadas registradas en 2011, ya que de enero a junio las temperaturas medias fueron de 1 a 3°C superiores.

Otros estudios también han demostrado que las temperaturas, sobre todo la temperatura máxima, y la insolación, se correlacionan positiva y significativamente con las concentraciones de polen de Urticaceae, aunque en algunos casos se pone de manifiesto que los coeficientes de correlación son más altos, cuando se tienen en cuenta valores acumulados de ambos parámetros (Recio, 1995; Rodríguez-Rajo, 2000; Vega-Maray, 2002).

También se ha observado que las temperaturas tienen una importante influencia sobre las concentraciones del alérgeno Par j 1-Par j 2, con coeficientes positivos más altos que los mostrados para el polen en el año 2009. En Málaga, igualmente se ha puesto de manifiesto que los coeficientes de correlación son mayores con el alérgeno que con el polen (García Sánchez, 2012).

En cuanto a las precipitaciones, éstas tienen una baja y negativa relación estadística con el polen, lo que también se ha comprobado en Ponferrada, Salamanca, Málaga, Motril (Vega-Maray, 2002; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008; Melgar, 2010). Sin embargo, las escasas lluvias caídas durante los meses de enero a junio y el menor número de días con precipitación en febrero y marzo de 2009, con respecto a los mismos meses de 2010 y 2011 podrían explicar un índice polínico inferior en el año 2009, lo que está en concordancia con Thompson *et al.* (1972) que explican como la mayor cantidad de lluvia y el mayor número de días de lluvia son ideales para el desarrollo de estas plantas herbáceas, con un incremento de la producción de flores y de polen. Igualmente Recio *et al.* (2009) indican que los años más húmedos coinciden con concentraciones más altas de polen de Urticaceae. González Minero *et al.* (1997) indican que poca lluvia, menos de 20 mm por semana, favorece altas concentraciones de polen de Urticaceae porque no es suficiente lluvia para limpiar la atmósfera y aumenta los niveles de humedad que favorecen la apertura de las anteras.

En Valladolid, el mayor índice alérgico corresponde al año 2010 coincidiendo con el invierno y la primavera más lluviosos de este estudio. Estas lluvias pudieron favorecer una proliferación de *Parietaria* y la humedad consecuente haber facilitado la hidratación y liberación de los alérgenos del polen.

En este estudio se ha constatado que algunos días con lluvias han coincidido con presencia del alérgeno lo que confirma la hipótesis de que los alérgenos son liberados durante episodios de lluvia, lo que también ha sido indicado por otros investigadores (Knox, 1993; Schäppi *et al.*, 1997, 1999; Moreno-Grau *et al.*, 2006; Alcázar *et al.*, 2009).

Todo ello demuestra que las lluvias tienen gran influencia sobre la floración de estas plantas y sobre la expulsión a la atmósfera de Par j 1- 2, como también han apuntado otros autores (Jato *et al.*, 2010).

En Valladolid, la humedad relativa se correlaciona negativamente con la concentración de polen al igual que han indicado otros autores (Recio, 1995; Galán *et al.*, 2000; Méndez, 2000; Rodríguez-Rajo, 2000; Vega-Maray, 2002; Nieto Lugilde, 2008; Rodríguez de la Cruz, 2008; Melgar, 2010; Sánchez-Reyes, 2010; García Sánchez, 2012). Contrariamente, Alcázar *et al.* (2009) obtuvieron coeficientes de correlación positivos de las precipitaciones y la humedad relativa con Urticaceae en Córdoba, ya que *Parietaria* habita en paredes con escasa disponibilidad de agua en el escaso suelo, por lo que presenta una inmediata respuesta positiva frente a las lluvias.

La humedad relativa también se correlaciona negativamente con las concentraciones de Par j 1-Par j 2 en Valladolid, como ocurre en Málaga (García Sánchez, 2012).

En esta Tesis Doctoral se pone de manifiesto la influencia positiva de la insolación y la evaporación sobre las concentraciones de polen de Urticaceae, pero no influyen sobre los niveles de Par j 1-Par j 2. Otros autores también han señalado la correlación positiva entre la insolación y las concentraciones de polen de Urticaceae (Galán *et al.*, 2000, Rodríguez de la Cruz, 2008; Melgar, 2010).

La radiación solar es el parámetro meteorológico que más influye para que las concentraciones de polen de Urticaceae sean altas, especialmente radiaciones de 30 MJ/m², pero no influye sobre el alérgeno.

En cuanto al viento, no se encuentran relaciones estadísticas con el polen. Pero hay que destacar que durante los tres años de estudio, los días de concentraciones de polen más elevadas y el día de mayor concentración de alérgeno coinciden con una velocidad del viento moderada, entre 5 y 7 km/h. Otros días de altas concentraciones de alérgeno del año 2009 coinciden, de forma general, con velocidades de más de 10 km/h, lo que coincide con la correlación negativa encontrada.

Otros autores encuentran correlaciones negativas entre las concentraciones medias diarias de polen de Urticaceae y la velocidad del viento (Rizzi-Longo *et al.*, 2004, Melgar, 2010). Valores negativos de correlación pueden ser indicadores del efecto diluyente que la elevada velocidad del viento provoca en las concentraciones polínicas atmosféricas (Valencia-Barrera *et al.*, 2001; Rizzi-Longo *et al.*, 2007; Melgar, 2010; Ščevková *et al.*, 2010).

Por otro lado, vientos flojos pero persistentes pueden ser responsables del transporte de una gran cantidad de granos de polen como se ha observado en Thessaloniki (Grecia) (Damialis *et al.* (2005, 2007).

La velocidad del viento presenta un bajo coeficiente de correlación con Par j 1-Par j 2 en 2009 en Valladolid, lo que también ha sido observado en Málaga en los años 2009 y 2010 (García Sánchez, 2012).

El polen de *Parietaria* es considerado un acumulador de contaminantes y se han detectado altas concentraciones de elementos traza (Wolterbeek, 2002; Alaimo *et al.*, 2005) y en este estudio el polen de Urticaceae presenta correlaciones significativas con todos los contaminantes atmosféricos analizados salvo con el material particulado PM10,

En este trabajo se pone de manifiesto la relación negativa del polen de Urticaceae con los óxidos de nitrógeno y positiva con el ozono.

Algunos autores indican que las altas concentraciones de alérgeno de Urticaceae encontrados en la atmósfera, están relacionados con los contaminantes, los cuales podrían inducir una mayor expresión de proteínas de defensa de la planta que en atmósferas con menores niveles de contaminantes (Zuidmeer & van Ree, 2007; Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011). Pero en este trabajo el alérgeno Par j 1-2 no se relaciona con ningún contaminante salvo con el ozono. El alérgeno Par j 1-2, proteína de transferencia lipídica (LTPs), se correlaciona negativamente con el ozono, es decir, la disminución de las concentraciones de ozono favorece mayores niveles de alérgeno, por una menor acción oxidativa del ozono sobre las proteínas y por tanto una mayor detección.

En Cartagena, ciudad con unos niveles de ozono (en un año) casi el doble que Valladolid (teniendo en cuenta el promedio de los tres años de estudio) se registran unos índices polínicos y alergénicos similares, sin embargo, en Orense con niveles de ozono ligeramente inferiores a los de Valladolid, el índice polínico es casi el triple y el índice alergénico es casi el doble de los registrados en esta ciudad (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011). No parece pues que los niveles promedio de ozono en cada ciudad, puedan explicar que exista mayor o menor concentración de polen y de alérgeno, sino que será el conjunto de factores meteorológicos y de contaminantes, los que puedan afectar a esas concentraciones.

En cuanto al dióxido de azufre, éste influye poco en las concentraciones de polen y de forma positiva unos años y negativa otros y no presenta relación estadística con el alérgeno. En Cartagena y Orense que presentan niveles de SO₂ que duplican los niveles de Valladolid, se citan un índice polínico igual y otro el triple y un índice alergénico similar y otro el doble, respectivamente (Rodríguez-Rajo *et al.*, 2011). Por ello se puede indicar, en general, que el dióxido de azufre no influye sobre las concentraciones de polen y alérgenos de urticáceas, sobre todo porque los niveles de este contaminante están disminuyendo de forma generalizada en las ciudades.

VI. Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos del estudio aerobiológico del polen y los alérgenos en la atmósfera de la ciudad de Valladolid se pueden extraer las siguientes conclusiones:

1. El polen de *Platanus* es el que alcanza las concentraciones más elevadas en la atmósfera de la ciudad, debido al gran número de plátanos de sombra y a las prácticas de jardinería, mediante las cuales se mantienen sin podar los grandes ejemplares. Su periodo de aparición es muy breve, durante el mes de abril. Los tipos polínicos más abundantes, entre las plantas herbáceas, son Poaceae y Urticaceae, los cuales se registran en el aire durante casi todo el año, siendo los meses de mayor presencia, de mayo a julio y de abril a septiembre, respectivamente.
2. Atendiendo a los grupos y categorías establecidos por la Red Española de Aerobiología, anualmente se registran pocos días con niveles moderados y altos. Se pueden considerar periodos de riesgo para la salud humana, los 20 primeros días de abril para *Platanus* y los últimos días de mayo y primera semana de junio para Poaceae.
3. Teniendo en cuenta la relación entre alérgenos y polen, en general se observa la misma distribución estacional en *Platanus* y en Poaceae, no siendo así para Urticaceae. Estos resultados han sido corroborados por los análisis estadísticos. Además, las ratios alérgeno/polen son más elevadas en Poaceae que en Urticaceae o *Platanus*.
4. Los análisis estadísticos entre los parámetros meteorológicos y el polen de *Platanus*, muestran que existen pocos índices de correlación significativos. En cuanto a los tipos polínicos Poaceae y Urticaceae, éstos fueron significativos y positivos con las variables de temperatura, evaporación, insolación y radiación solar y negativos con la humedad relativa. La radiación solar es el parámetro que más influye sobre el polen de Poaceae y Urticaceae.
5. Los análisis estadísticos entre los parámetros meteorológicos y el alérgeno Pla a 1, reflejan que no existen índices de correlación significativos. Las frecuentes y abundantes precipitaciones registradas entre abril y mayo de 2010, se corresponden con concentraciones muy elevadas de Lol p 1 y Lol p 5. La baja detección de Par j 1-Par j 2 es debida a la escasa presencia de *Parietaria* en Valladolid. Asimismo, un rango de humedad relativa entre el 50% y el 60% favorece las mayores concentraciones de alérgenos de *Platanus*, Poaceae y Urticaceae.

6. La velocidad del viento entre 5 y 8 km/h favorece las mayores concentraciones de polen y alérgenos de los tres tipos polínicos, no observándose una influencia de la dirección del viento, salvo en situaciones puntuales.
7. En la ciudad de Valladolid hay un comportamiento similar en la distribución estacional de polen, aeroalérgenos y el material particulado PM10 y PM2,5.
8. Los coeficientes de correlación significativos y positivos entre Pla a 1 y los óxidos de nitrógeno (NO y NO₂) corroboran los experimentos *in vitro*, realizados por otros investigadores. Sin embargo con los alérgenos Lol p 1, Lol p 5 y Par j 1-2, no se observó ninguna relación.
9. Se registran mayores concentraciones de Pla a 1, Lol p 5 y Par j 1-2 coincidiendo con descensos en los niveles de ozono en la atmósfera de la localidad, debido a una menor acción oxidativa del mismo, lo que ha sido demostrado *in vitro* en recientes estudios.
10. Las elevadas concentraciones de dióxido de azufre han podido inhibir la liberación de los alérgenos Lol p 1 y Lol p 5 de mayo a julio de 2011, a pesar de haberse registrado elevadas concentraciones de polen de Poaceae ese año. No se observa influencia del dióxido de azufre en Pla a 1 y Par j 1-2.
11. Los resultados obtenidos en cuanto al monóxido de carbono y al benceno no permiten establecer relaciones sobre el efecto de los mismos, ni en el polen ni en los aeroalérgenos estudiados.
12. Las influencias de las variables meteorológicas y de los contaminantes, sobre el polen y las proteínas alérgicas, se deben tener en cuenta en conjunto, por las reacciones fotoquímicas que ocurren en la atmósfera. Por lo tanto, es necesario realizar este tipo de estudios durante largos periodos de tiempo.
13. La vigilancia aerobiológica debe estar integrada entre las Estrategias de Salud Pública (planes, programas, etc...). Para ello, las administraciones e instituciones públicas deberían fomentar la investigación, con el fin de poder desarrollar sistemas de información específicos, para que la población de riesgo y los profesionales sanitarios puedan aplicar las oportunas medidas preventivas en relación a las alergias respiratorias, tal y como se ha hecho con las alergias a alimentos.

*VII. Referencias
bibliográficas*

- Aalberse, R.C. & Rob, C. (2000). Structural biology of allergens. *J Allergy Clin Immunol*, 106: 228-238.
- Abbott, M., Hayward, S., Ross, W., Godefroy, S.B., Ulberth, F., Van Hengel, A.J., Roberts, J., Akiyama, H., Popping, B., Yeung, J.M., Wehling, P., Taylor, S.L., Poms, R.E. & Delahaut, P. (2010). Validation procedures for quantitative food allergen ELISA methods: community guidance and best practices. *J AOAC Int*, 93(2): 442-450.
- Aboulaich, N., Achmakh, L., Bouziane, H., Trigo, M.M., Recio, M., Kadiri, M., Cabezudo, B., Riadi, H. & Kazzaz, M. (2013). Effect of meteorological parameters on Poaceae pollen in the atmosphere of Tetouan (NW Morocco). *Int J Biometeorol*, 57(2): 197-205.
- Aira, M.J., Dopazo, A. & Jato, V. (2001). Aerobiological monitoring of Cupressaceae in Santiago de Compostela (NW Iberian Peninsula). *Aerobiologia*, 17: 319-325.
- Aira, M.J., Rodríguez-Rajo, F.J., Fernández-González, M. & Jato, V. (2010). Airborne pollen of ornamental tree species in the NW of Spain. *Environ Monit Assess*, 173: 765-775.
- Alaimo, M.G., Vizzi, D. & Melati, M.R. (2005). Histochemical properties and trace element concentrations in *Parietaria* L. from urban sites (Palermo, Italy). *Aerobiologia*, 21: 21-31.
- Alba, F. (1997). *Caracterización polínica de la atmósfera de Granada: Relación con las variables meteorológicas y modelos predictivos de los taxones más alergógenos*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Alba, F. & Díaz de la Guardia, C. (1998). The effect of air temperature on the starting dates of the *Ulmus*, *Platanus* and *Olea* pollen season in the SE Iberian Peninsula. *Aerobiologia*, 14(2-3): 191-195.
- Alba-Sánchez, F., Sabariego-Ruiz, S., Díaz de la Guardia, C., Nieto-Lugilde, D. & De Linares, C. (2010). Aerobiological behaviour of six anemophilous taxa in semi-arid environments of southern Europe (Almería, SE Spain). *J Arid Environ*, 74(11): 1381-1391.
- Albertine, J.M., Manning, W.J., DaCosta, M., Stinson, K.A., Muilenberg, M.L. & Rogers, C.A. (2014). Projected carbon dioxide to increase grass pollen and allergen exposure despite higher ozone levels. *PLoS ONE*, 9(11): e111712.
- Alcázar, P., Cariñanos, P., De Castro, C., Guerra, F., Moreno, C., Domínguez-Vilches, E. & Galán, C. (2004). Airborne plane-tree (*Platanus hispanica*) pollen distribution in the city of Córdoba, Southwestern Spain, and possible implications on pollen allergy. *J Invest Allerg Clin*, 14(3): 238-243.
- Alcázar, P., Stach, A., Nowak, M. & Galán, C. (2009). Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland). *Aerobiologia*, 25: 55-63.
- Alcázar, P., García-Mozo, H., Trigo M.M., Ruiz, L., González-Minero, F.J., Hidalgo, P., Díaz de la Guardia & Galán, C. (2011). *Platanus* pollen season in Andalusia (southern Spain): trends and modeling. *J Environ Monitor*, 13:2502-2510.
- Amjad, L. & Shafiqhi, M. (2012). The effect of air pollution on *Chenopodium album* L. pollen structure. *J Agric Sci Technol*, 2: 143-148.
- Andersen, T.B. (1991). A model to predict the beginning of the pollen season. *Grana*, 30(1): 269-275.
- Anderson, W. & Prescott, G.J. (2001). Asthma admissions and thunderstorms: a study of pollen, fungal spores, rainfall and ozone. *Q J Med*, 94: 429-433.
- Andersson, K. & Lidholm, J. (2003). Characteristics and immunobiology of grass pollen allergens. *Int Arch Allergy Immunol*, 130(2): 87-107.

- Anfosso, F., Soler, M., Mallea, M. & Charpin, J. (1977). Isolation and characterization in vitro of an allergen from plane-tree (*Platanus acerifolia*) pollen. *Int Arch Allergy Appl Immunol*, 54: 481-486.
- Annesi-Maesano, I., Rouve, S., Desqueyroux, H., Jankovski, R., Klossek, J. M., Thibaudon, M., Demoly, P. & Didier, A. (2012). Grass pollen counts, air pollution levels and allergic rhinitis severity. *Int Arch Allergy Imm*, 158(4): 397-404.
- Antepara, I., Fernández Martínez, J.C., Gamboa, P., Jáuregui, I., González, G., Urrutia, I., Sota, C. de la & Miguel de la Villa, F. (1994). Alergia al polen en el área de Bilbao I. Calendario polínico. *Rev Esp Alergol Inmunol Clin*, 9: 2147-157.
- Arilla, M.C., Ibarrola, I., Eraso, E., Aguirre, M., Martínez, A. & Asturias, J.A. (2001). Quantification in mass units of group 1 grass allergens by a monoclonal antibody-based sandwich ELISA. *Clin Exp Allergy*, 31(8): 1271-1278.
- Arilla, M.C., Eraso, E., Ibarrola, I., Algorta, J., Martínez, A. & Asturias, J.A. (2002). Monoclonal antibody-based method for measuring olive pollen major allergen Ole e 1. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 89(1): 83-89.
- Arilla, M.C., Ibarrola, I., Mir, A., Monteseirin, J., Conde, J., Martínez, A. & Asturias, J.A. (2005). Development of a sandwich-type ELISA for measuring Pla a 1, the major allergen of *Platanus acerifolia* pollen. *Int Arch Allergy Immunol*, 138: 127-133.
- Arilla, M.C., González-Rioja, R., Ibarrola, I., Mir, A., Monteseirin, J., Conde, J., Martínez, A. & Asturias, J.A. (2006). A sensitive monoclonal antibody-based ELISA to quantify *Parietaria judaica* major allergens, Par j 1 and Par j 2. *Clin Exp Allergy*, 36(1): 87-93.
- Armentia, A., Lombardero, M., Callejo, A., Barber, D., Martín Gil, F.J., Martín-Santos, J.M., Vega, J.M. & Arranz, M.L. (2002). Is *Lolium* pollen from an urban environment more allergenic than rural pollen? *Allergol Immunopathol*, 30(4): 218-224.
- Armentia, A. (2003). Contenido alergénico de las gramíneas y polución. *J Allergy Clin Immunol*, 18(3): 97-101.
- Asero, R., Mistrello, G., Roncarolo, D., de Vries, S. C., Gautier, M.F., Ciurana, C.L.F., Verbeek, E., Mohammadi, T., Knul-Brettlova, V., Akkerdaas, J.H., Bulder, I., Aalberse, R.C. & Van Ree, R. (2000). Lipid Transfer Protein: A pan-allergen in plant-derived foods that is highly resistant to pepsin digestion. *Int Arch Allergy Immunol*, 122 (1): 20-32.
- Asero, R., Mistrello, G., Roncarolo, D. & Amato, S. (2004). *Parietaria* profilin shows only limited cross-reactivity with birch and grass profilins. *Int Arch Allergy Immunol*, 133(2): 87-107.
- Asero, R. (2010). Co-recognition of lipid transfer protein in pollen and foods in northern Italy: clinician's view. *Eur Ann Allergy Clin Immunol*, 42(6): 205-208.
- Asero, R., Mistrello, G., Amato, S. & Villalta, D. (2012). Monosensitization to a novel plane pollen allergen. *Eur Ann Allergy Clin Immunol*, 44(2): 167-169.
- Asturias, J.A., Arilla, M.C., Bartolomé, B., Martínez, J., Martínez, A. & Palacios, R. (1997a). Sequence polymorphism and structural analysis of timothy grass pollen profilin allergen (Phl p 11). *BBA-Gene Struct Expr*, 1352(3): 253-257.
- Asturias, J.A., Arilla, M., Gómez-Bayon, N., Martínez, J., Martínez, A. & Palacios, R. (1997b). Cloning and high level expression of *Cynodon dactylon* (Bermuda grass) pollen profilin (Cyn d 12) in *Escherichia coli*: purification and characterization of the allergen. *Clin Exp Allergy*, 27(11): 1307-1313.
- Asturias, J.A., Arilla, M.C., Aguirre, M., Gómez-Bayón, N., Martínez, A., Palacios, R., Sánchez-Gascón, F. & Martínez, F. (1999). Quantification of profilins by a monoclonal antibody-based sandwich ELISA. *J Immunol Method*, 229(1): 61-71.

- Asturias, J.A., Ibarrola, I., Bartolomé, B., Ojeda, I., Malet, A. & Martínez, A. (2002). Purification and characterization of Pla a 1, a major allergen from *Platanus acerifolia* pollen. *Allergy*, 57(3): 221-227.
- Asturias, J.A., Ibarrola, I., Eraso, E., Arilla, M.C. & Martínez, A. (2003a). The major *Platanus acerifolia* pollen allergen Pla a 1 has sequence homology to invertase inhibitors. *Clin Exp Allergy*, 33(7): 978-985.
- Asturias, J.A., Gómez-Bayón, N., Eseverri, J.L. & Martínez, A. (2003b). Par j 1 and Par j 2, the major allergens from *Parietaria judaica* pollen, have similar immunoglobulin E epitopes. *Clin Exp Allergy*, 33: 518-524.
- Asturias, J.A., Ibarrola, I., Fernández, J., Arilla, M.C., González-Rioja, R. & Martínez, A. (2005). Pho d 2, a major allergen from date palm pollen, is a profilin: cloning, sequencing, and immunoglobulin E crossreactivity with other profilins. *Clin Exp Allergy*, 35: 374-381.
- Asturias, J.A., Ibarrola, I., Amat, P., Tella, R., Malet, A., Cisteró-Bahíma, A., Enrique, E. & Malek, T. (2006). Purified allergens vs. complete extract in the diagnosis of plane tree pollen allergy. *Clin Exp Allergy*, 36(12): 1505-1512.
- Avolio, E., Pasqualoni, L., Federico, S., Fornaciari, M., Bonofiglio, T., Orlandi, F., Bellecci, C. & Romano, B. (2008). Correlation between large-scale atmospheric fields and the olive pollen season in Central Italy. *Int J Biometeorol*, 52:787-796.
- Ayuso, R., Carreira, J. & Polo, F. (1995). Quantitation of the major allergen of several *Parietaria* pollens by an anti-Par 1 monoclonal antibody-based ELISA. Analysis of crossreactivity among purified Par j 1, Par o 1 and Par m 1 allergens. *Clin Exp Allergy*, 25(10): 993-999.
- Ballero, M. & Maxia, A. (2003). Pollen spectrum variations in the atmosphere of Cagliari, Italy. *Aerobiologia*, 19: 251-259.
- Barcelo Coll, J., Nicolas Rodrigo, G., Sabater García, B. & Sánchez Tames, R. (1987). *Fisiología vegetal*. Pirámide, Madrid.
- Barranca, M., Fontana, S., Taverna, S., Duro, G., Zanella-Cleon, I., Becchi, M., De Leo, G. & Alessandro, R. (2010). Proteomic analysis of *Parietaria judaica* pollen and allergen profilin by an immunoproteomic approach. *Biotechnol Lett*, 32(4): 565-570.
- Bartolomé, B., Olivé, A., Vives, R., Martínez, J., Martínez, A. & Palacios, R. (1996). Estudio y caracterización de los alérgenos del polen de *Platanus acerifolia*. *Rev Esp Alergol Inmunol Clin*, 11: 211.
- Bartra, J., Mullol, J., Del Cuvillo, A., Dávila-González, I., Ferrer, M., Jáuregui, I., Montoro, J., Sastre, J. & Valero, A. (2007). Air pollution and allergens. *J Investig Allergol Clin Immunol*, 17 (2): 3-8.
- Bauchau, V. & Durham, S.R. (2004). Prevalence and rate of diagnosis of allergic rhinitis in Europe. *Eur Respir J*, 24(5): 758-764.
- Beck, I., Jochner, S., Gilles, S., McIntyre, M., Buters, J.T.M., Schmidt-Weber, C., Behrendt, H., Ring, J., Menzel, A. & Traidl-Hoffmann, C. (2013). High environmental ozone levels lead to enhanced allergenicity of birch pollen. *PLoS ONE*, 8: e80147.
- Becker, E.L. (1999). Elements of the history of our present concepts of anaphylaxis, hay fever and asthma. *Clin Exp Allergy*, 29: 875-895.
- Becker, W. M., van Ree, R., Fiebig, H., Cromwell, O., Weber, B., Monsalve, R., Barber, D., Raulf-Heimsoth, M., Moingeon, P., Didierlaurent, A., di Felice, G., Pini, C., Fötisch, K., Vieths, S. (2006). Validation of quantitative allergen-specific ELISAs. *Arb Paul Ehrlich Inst Bundesamt Sera Impfstoffe Frankf A M*, 95: 91-97; discussion, 97: 100-104.
- Beggs, P.J. (2004). Impacts of climate change on aeroallergens: past and future. *Clin Exp Allergy*, 34(10): 1507-1513.

- Behrendt, H., Becker, W.M., Friedrichs, K.H., Darsow, U. & Tomingas R. (1992). Interaction between aeroallergenes and airborne particulate matter. *J Int Arch Allergy Immunol*, 199: 425-428.
- Behrendt, H., Becker, W.M., Friedrich, K.H. & Ring, J. (1997). Air pollution and allergy: experimental studies on modulation of allergen release from pollen by air pollutants. *J Int Arch Allergy Immunol*, 113: 69-74.
- Behrendt, H. & Becker, W.M. (2001). Localization, release and bioavailability of pollen allergens: the influence of environmental factors. *Curr Opin Immunol*, 13(6): 709-715.
- Bell, J.N.B. & Treshow, M. (2002). *Air Pollution and Plant Life*. J. Wiley and Sons, Chichester, UK.
- Bellanger, A., Bosch-Cano, F., Millon, L., Ruffaldi, P., Franchi, M., & Bernard, N. (2012). Reactions of airway epithelial cells to birch pollen grains previously exposed to in situ atmospheric Pb concentrations: A Preliminary assay of allergenicity. *Biol Trace Elem Res*, 150(1-3): 391-395.
- Belmonte, J., Vendrell, M. & Roure, J.M. (1998). Aerobiología en Cataluña: Estación de Barcelona (1995-1996). *Rea*, 3: 53-56.
- Belmonte, J. & Roure, J.M. (2002). *Polinosis: Polen y Alergia*. MRA Ediciones, S.L. Laboratorios Menarini S.A. Barcelona.
- Benito-Rica, V. & Soto-Torres, J. (2001). Polinosis y aerobiología del polen en la atmósfera de Santander. *Alergol Inmunol Clin*, 16: 84-90.
- Bermejo, D. & García, A.M. (2002). Aerobiología en Aragón: Estación de Zaragoza (2000-2001). *Rea*, 7: 101-106.
- Bist, A., Pandit, T., Bhatnagar, A.K., Singh, A.B., 2004. Variability in protein content of pollen of Castor bean (*Ricinus communis*) before and after exposure to the air pollutants SO₂ and NO. *Grana*, 43: 94-100.
- Black, V.J., Black, C.R., Roberts, J.A., Stewart, C.A. (2000). Impact of ozone on the reproductive development of plants. *New Phytol*, 147: 421-447.
- Black, V.J., Stewart, C.A., Roberts, J.A. & Black, C.R. (2007). Ozone affects gas exchange, growth and reproductive development in *Brassica campestris* (Wisconsin fast plants). *New Phytol*, 176(1): 150-63.
- Blackley, C.H. (1873). *Experimental Researches on the Causes and Nature of Catarrhus Aestivus (hay fever or hay-asthma)*. Baillière Tindall and Cox, Londres.
- Blackley, C.H. (1880). *Hay fever, its causes, treatment and effective prevention*. Londres: Baillière Tindall and Cox.
- Blackmore, S. & Barnes, S.H. (1990). *Pollen wall development in angiosperm*. In: S. Blackmore, R. & Knox, B. (Eds). *Microspores: Evolution and ontogeny*. Academic Press, San Diego, pp. 173-192.
- Blackmore, S. (2007). Pollen and spores: Microscopic keys to understanding the earth's biodiversity. *Pl Syst Evol*, 263: 3-12.
- Blanco Castro, E. (1989). Áreas y enclaves de interés botánico en España (Flora silvestre y vegetación). *Ecología*, 3: 7-21.
- Bondi, M.L., Montana, G., Craparo, E.F., Di Gesu, R., Giammona, G., Bonura, A. & Colombo, P. (2011). Lipid nanoparticles as delivery vehicles for the *Parietaria judaica* major allergen Par j 2. *Int J Nanomedicine*, 6: 2953-2962.
- Bonura, A. & Colombo, P. (2011). Novel strategies for the development of a vaccine for *Parietaria* allergy. *Int J Immunopathol Pharmacol*, 24(2): 297-304.
- Bonura, A., Passantino, R., Costa, M.A., Montana, G., Melis, M., Bondi, M.L., Butteroni, C., Barletta, B., Corinti, S., Di Felice, G., Colombo, P. (2012). Characterization of a Par j 1/Par

- j 2 mutant hybrid with reduced allergenicity for immunotherapy of *Parietaria* allergy. *Clin Exp Allergy*, 42(3): 471-80.
- Bonura, A., Corinti, S., Schiavi, E., Giacomazza, D., Gianguzza, F., Di Felice, G. & Colombo, P. (2013). The major allergen of the *Parietaria* pollen contains an LPS-binding region with immuno-modulatory activity. *Allergy*, 68: 297-303.
- Bortenschlager, S. & Bortenschlager, I. (2005). Altering airborne pollen concentrations due to the global warming. A comparative analysis of airborne pollen records from Innsbruck and Obergurgl (Austria) for the period 1980–2001. *Grana*, 44: 172-180.
- Bosch-Cano, F., Bernard, N., Sudre, B., Gillet, F., Thibaudon, M., Richard, H., Badot, P.M. & Ruffaldi, P. (2011). Human exposure to allergenic pollens: a comparison between urban and rural areas. *Environ Res*, 111(5): 619-625.
- Bostock, J. (1819). Case of a periodical affection of the eyes and chest. *Medico-Chirurgical Transactions*, 10: 161-165.
- Bostock, J. (1828). Of the Catarrhus Aestivus or Summer Catarrh. *Medico-Chirurgical Transactions*, 14: 437-446.
- Bousquet, J., Cour, P., Guérin, B. & Michel, F.B. (1984). Allergy in the Mediterranean area. I. Pollen counts and pollinosis of Montpellier. *Clin Allergy*, 14: 249-258.
- Bousquet, P., Chinn, S., Janson, C., Kogevinas, M., Burney, P. & Jarvis, D. (2007). Geographical variation in the prevalence of positive skin tests to environmental aeroallergens in the European Community Respiratory Health Survey I. *Allergy*, 62: 301-309.
- Breiteneder, H., & Ebner, C. (2000). Molecular and biochemical classification of plant derived food allergens. *J Allergy Clin Immunol*, 106(1): 27.
- Breiteneder, H. & Radauer, C. (2004). A classification of plant food allergens. *J Allergy Clin Immunol*, 113(5): 821-830.
- Bricchi, E., Fornaciari, M., Giannoni, C., Greco, F., Fascini, G., Frenguelli, G., Mincigrucci, G. & Romano, B. (1992). Fluctuations of grass pollen content in the atmosphere of East Perugia and meteorological correlations. *Aerobiologia*, 8: 401-406.
- Brooks, J. & Shaw, G. (1968). Chemical structure of the exine of pollen walls and a new function for carotenoids in nature. *Nature*, 219:532-533.
- Brown, G.C. & Borutaite, V. (2004). Inhibition of mitochondrial respiratory complex I by nitric oxide, peroxynitrite and S-nitrosothiols. *Biochim Biophys Acta*, 1658: 44-49.
- Bufe, A., Schramm, G., Keown, M.B., Schlaak, M. & Becker, W.M. (1995). Major allergen Phl p Vb in timothy grass is a novel pollen RNase. *FEBS letters*, 363(1-2): 6-12.
- Bullock, J.M., White, S.M., Prudhomme, C., Tansey, C., Perea, R. & Hooftman, D.A.P. (2012). Modelling spread of British wind-dispersed plants under future wind speeds in changing climate. *J Ecol*, 100:104-115.
- Busse, W.W., Redd, C.E., Hoehme, J.H. (1972). Where is the allergic reaction in ragweed asthma? II: Demonstration of ragweed antigen in airborne particles smaller than pollen. *J Allergy Clin Immunol*, 50: 289-293.
- Buters, J.T.M., Kasche, A., Weichenmeier, I., Schober, W., Klaus, S., Traidl-Hoffmann, C., Menzel, A., Huss-Marp, J., Kramer, U., Behrendt, H. (2008). Year-to-year variation in release of Bet v 1 allergen from birch pollen. Evidence for geographical differences between west and south Germany. *Int Arch Allergy Immunol*, 145: 122-130.
- Buters, J.T.M., Weichenmeier, I., Ochs, S., Pusch, G., Kreyling, W., Boere, A.J.F., Schober, W., Behrendt, H. (2010). The allergen Bet v 1 in fractions of ambient air deviates from birch pollen counts. *Allergy*, 65(7): 850-858.

- Buters, J.T.M., Thibaudon, M., Smith, M., Kennedy, R., Rantio-Lehtimäki, A., Albertini, R., Reese, G., Weber, B., Galán, C., Brandao, R., Antunes, C.M., Jäger, S., Berger, U., Celenk, S., Grewling, L., Jackowiak, B., Sauliene, I., Weichenmeier, I., Pusch, G., Sarioglu, H., Ueffing, M., Behrendt, H., Prank, M., Sofiev, M., Cecchi, L. The HIALINE working group (2012). Release of Bet v 1 from birch pollen from 5 European countries. Results from the HIALINE study. *Atmos Environ*, 55: 496-505.
- Bytnerowicz, A., Arbaugh, M., Fenn, M., Heath, R., Paoletti, E., & Gimeno, B. S. (2007). Forests under influence of air pollution, climate change and urban development. *Sci World J*, 7(s1): 266.
- Cabezudo, B., Recio, M., Sánchez-Laulhé, J.M., Trigo, M.M., Toro, F.J. & Polvorinos, F. (1997). Atmospheric transportation of Marijuana pollen from North Africa to the Southwest of Europe. *Atmos Environ*, 31(20): 3323-3328.
- Cabrera, M., Martínez-Cócerca, C., Fernández-Caldas, E., Carnés Sánchez, J., Boluda, L., Tejada, J., Subiza, J.L., Subiza, J., Jerez, M. (2002). *Trisetum paniceum* (wild oats) pollen counts and aeroallergens in the ambient air of Madrid, Spain. *Int Arch Allergy Immunol*, 128 (2): 123-129.
- Cabrera, M. (2011). *Cuantificación de alérgenos de Poaceae, Oleaceae, Platanaceae y Cupressaceae en la atmósfera de Madrid y su correlación con los recuentos de pólenes y las variables meteorológicas y de contaminación (2009-2010)*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Cadenas, I., Camacho, J.L., Cano, D., Cervigón, P., Gutiérrez, A.M. & Subiza, J. (2009). Predicción del inicio de la temporada de polinización del plátano de sombra en la Comunidad de Madrid y en la ciudad de Córdoba. Técnicas y resultados. *Nota Técnica nº 1 de Biometeorología*. AEMET.
- Camazón, B., Blanco, B., Valencia, R.M., Vega, A.M., Sinclair, N. & Fernández, D. (2014) Sensibilización a Phl p 1 y Phl p 5 en estudiantes universitarios de León y relación con la concentración en la atmósfera. *J Investig Allergol Immunol*, 24(2): 219.
- Candau, P., Pérez Tello, A.M., González Minero, F.J., Carrasco, M. & Morales, J. (2002). Aerobiología en Andalucía: Estación de Sevilla (2000-2001). *Rea*, 7: 95-100.
- Cariñanos, P., Galán, C., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2004). Airborne pollen records response to climatic conditions in arid areas of Iberian Peninsula. *Environ Exp Bot*, 52: 11-22.
- Cariñanos, P., Galán, C., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2007). Analysis of solid particulate matter suspended in the air of Córdoba, southwestern Spain. *Ann Agric Environ Med*, 14: 159-164.
- Cariñanos, P., Galán, C., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2010). Airborne pollen records and status of the anemophilus flora in arid areas of the Iberian Peninsula. *J Arid Environ*, 74: 1102-1105.
- Casas, C., Márquez, J., Suárez-Cervera, M. & Seoane-Camba, J.A. (1996). Immunocytochemical localization of allergenic proteins in *Parietaria judaica* L. (*Urticaceae*). *Eur J Cell Biol*, 70: 179-188.
- Castillo, R., Fernández, J. & Gómez-Gómez, L. (2005). Implications of carotenoid biosynthetic genes in apocarotenoid formation during the stigma development of *Crocus sativus* and its closer relatives. *Plant Physiol*, 139: 674-689.
- CDC (2002). Asthma prevalence and control characteristics by race/ethnicity—United States. *Morb Mort Wkly Rep*, 53: 145-148.
- Cecchi, L., D'Amato, G., Ayres, J.G., Galán, C., Forastiere, F., Forsberg, B., Gerritsen, J., Nunes, C., Behrendt, H., Akdis, C., Dahl, R. & Annesi-Maesano, I. (2010). Projections of the effects of climate change on allergic asthma: the contribution of aerobiology. *Allergy*, 65: 1073-1081.

- Cecchi, L. (2013). From pollen count to pollen potency: the molecular era of aerobiology. *Eur Respir J*, 42: 898-900.
- Celenk, S., Canitez, Y., Bicakci, A., Sapan, N. & Malyer, H. (2009). An aerobiological study on pollen grains in the atmosphere of North-West Turkey. *Environ Monit Assess*, 158(1-4): 365-380.
- Chapman, M.D., Pomés, A., Breiteneder, H. & Ferreira, F. (2007). Nomenclature and structural biology of allergens. *J Allergy Clin Immunol*, 119(2): 414-20.
- Chapman, M.D. (2008). *Allergen Nomenclature*. In: Richard F., Lockey, D. & Ledford, K. (Eds). *Allergens and Allergen Immunotherapy, 4th edition*. Informa Healthcare, New York, pp. 47-58.
- Chehregani, A.H., Majde, A., Moin, M., Golami, M., Shariatzadeh, S.M. & Mohsenzae, F. (2004). Effect of air pollution on some cytogenetic characteristics, structure, viability and proteins of *Zinnia elegans* pollen grains. *Pak J Biol Sci*, 7(1): 118-122.
- Chehregani, A.H. & Kouhkan, F. (2008). Diesel exhaust particles and allergenicity of pollen grains of *Lilium martagon*. *Ecotox Environ Safe*, 69(3): 568-573.
- Chichiriccò, G. (2000). Viability-germinability of Crocus (Iridaceae) pollen in relation to cyto and ecophysiological factors. *Flora*, 195: 193-199.
- Chichiricco, G. & Picozzi, P. (2007). Reversible inhibition of the pollen germination and the stigma penetration in *Crocus vernus* ssp. *vernus* (Iridaceae) following fumigations with NO₂, CO, and O₃ gases. *Plant Biol*, 9: 730-735.
- Clapperton, M.J. & Reid, D.M. (1994). Effects of sulphur dioxide (SO₂) on growth and flowering of SO₂-tolerant and non-tolerant genotypes of *Phleum pratense*. *Environ Pollut*, 86 (3): 251-258.
- Clary, J., Savé, R., Biel, C. & De Herralde, F. (2004). Water relations in competitive interactions of Mediterranean grasses and shrubs. *Ann Appl Biol*, 144(2): 149-155.
- Clot, B. (1998). Forecast of the Poaceae pollination in Zurich and Basel (Switzerland). *Aerobiologia*, 14: 267-268.
- Clot, B. (2001). Airborne birch pollen in Neuchatel (Switzerland): onset, peak and daily patterns. *Aerobiologia*, 17: 25-29.
- Clot, B. (2003). Trends in airborne pollen: an overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). *Aerobiologia*, 19: 227-234.
- Clot, B. (2007). *Pollen dans l'air du Plateau suisse. Paramètres climatiques et nouveaux risques pour les allergies*. Tesis Doctoral. Université de Neuchâtel.
- Cohen, S.G. & Richard, E. (2008). Allergen immunotherapy in historical perspective. *Clin Allergy Immunol*, 21:1-29.
- Colombo, P., Bonura, A., Costa, M., Izzo, V., Passantino, R., Locorotondo, G., Amoroso, S., Geraci, D. (2003). The allergens of *Parietaria*. *Int Arch Allergy Immunol*, 130(3): 173-179.
- Comtois, P. (1997). Pollen dispersal and long distance transport: the case of thermophilic pollen in subarctic Canada. *Aerobiologia*, 13: 37-42.
- Comtois, P. (1998). *Statistical analysis of aerobiological data*. In: P. Mandrioli, P. Comtois & Levizzani, V. (Eds). *Methods in Aerobiology*. Pitagora Editrice, Bologna, pp. 217-258.
- Corbi, A.L. & Carreira, J. (1984). Identification and characterization of *Parietaria judaica* allergens. *Int Arch Allergy Appl Immunol*, 74(4): 318-323.
- Cortegano, I., Civantos, E., Aceituno, E., Del Moral, A., López, E., Lombardero, M., del Pozo, V. & Lahoz, C. (2004). Cloning and expression of a major allergen from *Cupressus arizonica*

- pollen, Cup a 3, a PR-5 protein expressed under polluted environment. *Allergy*, 59(5): 485-490.
- Crimi, P., Macrina, G., Folli, C., Beroluzzo, L., Brichetto, L., Caviglia, I. & Fiorina, A. (2004). Correlation between meteorological conditions and *Parietaria* pollen concentration in Alassio, north-west Italy. *Int J Biometeorol*, 49: 13-17.
- Cruz, M.J., Rodrigo, M.J., Antó, J.M. & Morell, F. (2000). An amplified ELISA inhibition method for the measurement of airborne soybean allergens. *Int Arch Allergy Immunol*, 122: 42-48.
- Cruz, M.J., Villalbí, J.R., Swanson, M., Pintó, J.M., Rodrigo, M.J., Morell, F. (2008). Immunoquantitative measurement of soybean aeroallergen emissions at industrial sites. *J Investig Allergol Clin Immunol*, 18 (6): 443-448.
- Cuesta-Herranz, J., Barber, D., Blanco, C., Cisteró-Bahíma, A., Crespo, J.F., Fernández-Rivas, M., Fernández-Sánchez, J., Florido, J.F., Ibáñez, M.D., Rodríguez, R., Salcedo, G., García, B.E., Lombardero M, Quiralte, J., Rodríguez, J., Sánchez-Monge, R., Vereda, A., Villalba, M., Alonso Díaz de Durana, M.D., Basagaña, M., Carrillo, T., Fernández-Nieto, M., Tabar, A.I. (2010). Differences among pollen-allergic patients with and without plant food allergy. *Int Arch Allergy Immunol*, 153(2), 182-192.
- Cuínica, L.G., Abreu, I., Rocha-Gomes, C. & Esteves da Silva, J.C. (2013). Exposure of *Betula pendula* Roth pollen to atmospheric pollutants CO, O₃ and SO₂. *Grana*, 52(4): 299-304.
- Cuínica, L.G., Abreu, I. & Esteves da Silva, J. (2014a). Effect of air pollutant NO₂ on *Betula pendula*, *Ostrya carpinifolia* and *Carpinus betulus* pollen fertility and human allergenicity. *Environ Pollut*, 186: 50-55.
- Cuínica, L.G., Abreu, I. & Esteves da Silva, J. (2014b). In vitro exposure of *Ostrya carpinifolia* and *Carpinus betulus* pollen to atmospheric levels of CO, O₃ and SO₂. *Environ Sci Pollut Res Int*, 21(3): 2256-2262.
- Cvitanović, S. (1999). Allergy to *Parietaria officinalis* pollen. *Croat Med J*, 40(1): 42-48.
- Dahl, A. & Strandhede, S.O. (1996). Predicting the intensity of the birch pollen season. *Aerobiologia*, 12: 97-106.
- D'Amato, G. & Lobefalo, G. (1989). Allergenic pollens in the southern Mediterranean area. *J Allergy Clin Immunol*, 83: 116-122.
- D'Amato, G. & Spiekma, F.Th.M. (1991). Allergenic pollen in Europe. *Grana*, 30: 67- 70.
- D'Amato, G., De Palma, R., Verga, A., Martucci, P., Liccardi, G. & Lobefalo, G. (1991). Antigenic activity of non pollen parts (leaves and stems) of allergenic plants (*Parietaria judaica* and *Dactylis glomerata*). *Ann Allergy Asthma Immunol*, 67:421-424.
- D'Amato, G. (2001). Airborne paucimicronic allergen-carrying particles and seasonal respiratory allergy. *Allergy*, 56: 1109-1111.
- D'Amato, G., Liccardi, G. & Frengueli, G. (2007). Thunderstorm-asthma and pollen allergy. *Allergy*, 62: 11-16.
- D'Amato, G., Cecchi, L. & Liccardi, G. (2008). Thunderstorm-related asthma: not only grass pollen and spores. *J Allergy Clin Immunol*, 121: 537-538.
- D'Amato, G. (2011). Effects of climatic changes and urban airpollution on the rising trends of respiratory allergy and asthma [Review]. *Multidiscip Respir M*, 6(1): 28-37.
- Damialis, A., Gioulekas, D., Lazopoulou, C., Balafoutis, C. & Vokou, D. (2005). Transport of airborne pollen into the city of Thessaloniki: the effects of wind direction, speed and persistence. *Int J Biometeorol*, 49: 139-145.
- Damialis, A., Halley, J.M., Gioulekas, D. & Vokou, D. (2007). Long-term trends in atmospheric pollen levels in the city of Thessaloniki, Greece. *Atmos Environ*, 41: 7011-7021.

- Darbah, J.N., Kubiske, M.E., Nelson, N., Oksanen, E., Vapaavuori, E. & Karnosky, D.F. (2008). Effects of decadal exposure to interacting elevated CO₂ and/or O₃ on paper birch (*Betula papyrifera*) reproduction. *Environ Pollut*, 155 (3): 446-452.
- Davidson, A.C., Emberlin, J., Cook, A.D. & Venables, K.M. (1996). A major outbreak of asthma associated with a thunderstorm: experience of accident and emergency department and patients characteristics. *Brit Med J*, 312: 601-604.
- Davies, R.R. & Smith, L.P. (1973). Forecasting the start and severity of the hay fever season. *Clin Allergy*, 3:263-267.
- Dawson, T.P., Jackson, S.T., House, J.I., Prentice, I.C. & Mace, G.M. (2011). Beyond predictions: biodiversity conservation in a changing climate. *Science*, 332: 53-58.
- De Benito, V. (2003). *Aerobiología del polen alergénico y polinosis en Santander. Relación de la agudización del asma bronquial con factores del ambiente exterior*. Tesis Doctoral. Universidad de Cantabria.
- De Castro-Alfageme, S., Estrada-Velez, E., Vega-Maray, A.M., González-Parrado, Z., Fuertes, C.R. & Sánchez-Reyes, E. (2007). Información sobre niveles de polen en la atmósfera de Castilla y León. IX Congreso Nacional de Sanidad Ambiental. *Rev salud ambient*, 7(1): 58-59.
- De Castro-Alfageme, S. & Fernández-González, D. (Coord.) (2008). *Aerobiología y polinosis en Castilla y León*. Ed. Junta de Castilla y León. Valladolid.
- Deguillaume, L., Leriche, M., Amato, P., Ariya, P.A., Delort, A.M., Pöschl, U., Chaumerliac, N., Bauer, H., Flossmann, A.I. & Morris, C.E. (2008). Microbiology and atmospheric processes: chemical interactions of primary biological aerosols. *Biogeosciences*, 5: 1073-1084.
- De la Rosa, M.C., Mosso, M.A. & Ullán, C. (2002). El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Observatorio Medioambiental*, 5: 375-402.
- De Linares, C. (2007). *Análisis del polen alergénico en la atmósfera de Granada: Evolución de las concentraciones polínicas, actividad alergénica e incidencia en la población atópica*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada
- De Linares, C., Díaz de la Guardia, C., Nieto-Lugilde, D. & Alba, F. (2010). Airborne study of grass allergen (Lol p 1) in different-sized particles. *Int Arch Allergy Immunol*, 152 (1): 49-57.
- Del Río González, S. (2005). El Cambio Climático y su influencia en la vegetación de Castilla y León (España). *Itinera Geobotánica*, 16.
- Després, V., Nowoisky, J., Klose, M., Conrad, R., Andreae, M.O. & Pöschl, U. (2007). Molecular genetics and diversity of primary biogenic aerosol particles in urban, rural and high-alpine air. *Biogeosci Discuss*, 4: 349-384.
- Detandt, M. & Noland, N. (2000). The fluctuation of the allergenic pollen content of the air of Brussels (1982 to 1997). *Aerobiologia*, 16: 55-61.
- Devereux, G. (2006). The increase in the prevalence of asthma and allergy: food for thought. *Nat Rev Immunol*, 6(11): 869-874.
- Deviller, P. (1995). Les profilines. *Rev Fr Allergol*, 35(3): 307-308.
- De Weger, L.A., Bergmann, K.C., Rantio-Lehtimäki, A. (2013). *Impact of pollen*. In: Sofiev M & Bergmann K.C. (Eds.). *Allergenic Pollen. A Review of the Production, Release, Distribution and Health Impacts*. Springer, Dordrecht, pp. 161-216.
- Díaz de la Guardia, C., Sabariego, S., Alba, F., Ruiz, L., García Mozo, H., Toro, F.J., Valencia, R.M., Rodríguez-Rajo, F.J., Guardia, A. & Cervigón, P. (1999). Aeropalynological study of the genus *Platanus* L. in the Iberian Península. *Polen*, 10: 89-97.

- Dickinson, H.G. (1994). Self-pollination simply a social disease. *Nature*, 367: 517-518.
- Dickinson, H.G. (1995). Dry stigmas, water and self-incompatibility in *Brassica*. *Sex Plant Rep*, 8: 1-10.
- Dinis, A.M., Baptista, F. & Pereira Coutinho, A. (2007). Is the quantity of orbículos released by *Dactylis glomerata* and *Cynosurus echinatus* (Poaceae) big enough to play an allergenic role? *Grana*, 46: 140-147.
- 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 L 152 de 11 de junio de 2008.
- Dobson, H.E.M. (1988). Survey of pollen and pollenkitt lipids-chemical cues to flower visitors? *Amer J Bot*, 75: 170-182.
- Docampo, S. (2008). *Estudio aerobiológico de la atmósfera de la costa oriental de Málaga (sur de España) e incidencia de las esporas fúngicas en el interior de la cueva de Nerja*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga
- Driessen, M.N.B.M., Van Herpen, R.M.A. & Smithuis, L.O.M.J. (1990). Prediction of the start of the grass pollen season for the southern part of the Netherlands. *Grana*, 29: 79-86.
- Duffort, O., Quintana, J., Ipsen, H., Barber, D. & Polo, F. (2008). Antigenic similarity among group 1 allergens from grasses and quantitation ELISA using monoclonal antibodies to Phl p 1. *Int Arch Allergy Immunol*; 145(4): 283-290.
- Eckl-Dorna, J., Klein, B., Reichenauer, T.G., Niederberger, V. & Valenta, R. (2010). Exposure of rye (*Secale cereale*) cultivars to elevated ozone levels increases the allergen content in pollen. *J Allergy Clin Immunol*, 126: 1315-1317.
- Eder, W., Ege, M.J. & von Mutius, E. (2006). The Asthma Epidemic. *N Engl J Med*, 355: 2226-35.
- Edlung, A. F., Swanson, R. & Preuss, D. (2004). Pollen and stigma structure and function: the role of diversity in pollination. *The Plant Cell*, 16 (Sup.): 84-97.
- Edmonds, R. (1979). *Aerobiology. The ecological systems approach*. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc., Stroudsburg, Pennsylvania. USA.
- Ekramoddoullah, A.K.M., Kisil, F.T. & Schon, A.H. (1981). Isolation of allergenically active cytchrome c from Kentucky bluegrass pollen. *Int Arch Appl Immunol*, 65: 367-376.
- Elagoz, V. & Manning, W. (2005). Responses of sensitive and tolerant bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to ozone in open-top chambers are influenced by phenotypic differences, morphological characteristics and the chamber environment. *Environ Pollut*, 136: 371-383.
- El-Ghazaly, G., El-Ghazaly, P.K., Larsson, K. & Nilsson, S. (1993). Comparison of airborne pollen grains in Huddinge and Stockholm, Sweden. *Aerobiologia*, 9: 53-67.
- Elvira-Rendueles, B. (2001). *Caracterización aeropalínológica del bioaerosol atmosférico de Cartagena*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Emanuel, M.B. (1988). Hay fever, a post industrial revolution epidemic: a history of its growth during the 19th century. *Clin Allergy*, 18(3): 295-304.
- Emberlin, J., Savage, M. & Jones, S. (1993). Annual variations in grass pollen seasons in London 1961-1990: trends and forecast models. *Clin Exp Allergy*, 23: 911-918.
- Emberlin, J. (1998). The effects of air pollution on allergenic pollen. *Eur Respir Rev*, 8: 164-167.
- Emberlin, J., Detandt, M., Gehrig, R., Jaeger, S., Norlard, N. & Rantio-Lehtimäki, A. (2002). Responses in the start of *Betula* (birch) pollen season to recent changes in spring temperatures across Europe. *Int J. Biometeorol*, 46: 159-170.

- Emberlin, J., Smith, M., Close, R. & Adams-Groom, B. (2007). Changes in the pollen seasons of the early flowering trees *Alnus* spp. and *Corylus* spp. in Worcester United Kingdom 1996–2005. *Int J Biometeorol*, 51:181-191.
- EMBL-EBI; <http://www.ebi.ac.uk> (Consultada el 12 de mayo de 2014).
- Enrique, E., Cisteró-Bahíma, A., Bartolomé, B., Alonso, R., San Miguel-Moncín, M. M., Bartra, J. & Martínez, J. (2002). *Platanus acerifolia* pollinosis and food allergy. *Allergy*, 57: 351-356.
- EPA (1996). *Air Quality Criteria for Particulate Matter (Final Report, April 1996)*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C., EPA 600/P-95/001.
- EPA (2002). *Air quality criteria for particulate matter (Third external review draft, May 2002)*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Center For Environmental Assessment, Research Triangle Park Office, Research Triangle Park, NC, EPA/600/P-99/002a, b, c.
- Erbas, B., Chang, J.H., Dharmage, S., Ong, E.K., Hyndman, R., Newbiggin, E. & Abramson, M. (2007). Do levels of airborne grass pollen influence asthma hospital admissions? *Clin Exp Allergy*, 37: 11.
- Erbas, B., Akram, M., Dharmage, S.C., Tham, R., Dennekamp, M., Newbiggin, E., Taylor, P., Tang, M.L.K. & Abramson M.J. (2012). The role of seasonal grass pollen on childhood asthma emergency department presentations. *Clin Exp Allergy*, 42, 799–805.
- Erdtman, G. (1969). *Handbook of Palynology. Morphology-Taxonomy-Ecology. An introduction to the study of pollen grains and spores*. Copenhagen: Munksgaard.
- Esposito, V., Lucariello, A., Savarese, L., Cinelli, M.P., Ferraraccio, F., Bianco, A., De Luca, A. & Mazarella, G. (2012). Morphology changes in human lung epithelial cells after exposure to diesel exhaust micron sub particles PM1.0 and pollen allergens. *Environ pollut*, 171: 162-167.
- Fahlbusch, B., Müller, W.D., Rudeschko, O., Jäger, L., Cromwell, O. & Fiebig, H. (1998). Detection and quantification of group 4 allergens in grass pollen extracts using monoclonal antibodies. *Clin Exp Allergy*, 28(7): 799-807.
- Fahlbusch, B., Hornung, D., Heinrich, J., Dahse, H.M. & Jäger, L. (2000). Quantification of group 5 grass pollen allergens in house dust. *Clin Exp Allergy*, 30(11): 1645-1652.
- Feher, Z. & Jàrai-Komlódi, M. (1997). An examination of the main characteristics of the pollen seasons in Budapest, Hungary (1991-1996). *Grana*, 36: 169-174.
- Feng, M., Lu, S., Zhang, R., Shen, C., Huang, J., & Wang, Y. (2011). Preliminary studies on complex pollution caused by ambient allergenic pollens and urban particulate matters in Shanghai. *China Environ Sci*, 31(7): 1095-1101.
- Feo Brito, F., Mur Gimeno, P., Martínez, C., Tobías, A., Suárez, L., Guerra, F., Borja, J.M. & Alonso, A.M. (2007). Air pollution and seasonal asthma during the pollen season. A cohort study in Puertollano and Ciudad Real (Spain). *Allergy*, 62: 1152-1157.
- Feo Brito, F., Mur Gimeno, P., Carnés, J., Fernández-Caldas, E., Lara, P., Alonso, A.M., García, R. & Guerra, F. (2010). Grass pollen, aeroallergens and clinical symptoms in Ciudad Real, Spain. *J Investig Allergol Clin Immunol*, 20(4): 295-302.
- Fernández-Casado, M.A., Nava, H.S. & Suárez-Pérez, F.J. (2000). Aerobiología en Asturias: Estación de Oviedo (1999). *Rea*, 6: 59-62.
- Fernández-González, D. (1990). *Estudio del contenido de polen y esporas de la atmósfera de la ciudad de León*. Tesis Doctoral. Universidad de León

- Fernández-González, D., Valencia-Barrera, R.M., Vega, A.M., Díaz de la Guardia, C., Trigo, M. M., Cariñanos, P., Guardia, A., Pertinez, C. & Rodríguez-Rajo, F. (1999). Analysis of grass pollen concentrations in the atmosphere of several Spanish sites. *Pollen*, 10: 123-132.
- Fernández-González, D., Rodríguez-Rajo, F.J., González-Parrado, Z., Arias, S., Valencia-Barrera, R.M., Moreno-Grau, S., Asturias, J. & Suárez-Cervera, M. (2008). Relationship between Poaceae pollen counts and the quantification of the Lol p 1 allergen atmospheric content. *Allergy*, 63(88): 548-549.
- Fernández-González, D., González-Parrado, Z., Vega-Maray, A.M., Valencia-Barrera, R.M., Camazón-Izquierdo, B., De Nuntiis, P. & Mandrioli, P. (2010). *Platanus* pollen allergen, Pla a 1: quantification in the atmosphere and influence on a sensitizing population. *Clin Exp Allergy*, 40: 1701-1708.
- Fernández-González, D., Rodríguez-Rajo, F.J., González-Parrado, Z., Valencia-Barrera, R.M., Jato, V. & Moreno-Grau, S. (2011). Differences in atmospheric emissions of *Poaceae* pollen and Lol p 1 allergen. *Aerobiologia*, 27: 301-309.
- Fernández-González, M., Guedes, A., Abreu, I. & Rodríguez-Rajo, F.J. (2013). Pla a 1 aeroallergen immunodetection related to the airborne *Platanus* pollen content. *Sci Total Environ*, 463-464: 855-860.
- Fernández-Llamazares, A., Belmonte, J., Delgado, R. & De Linares, C. (2014). A statistical approach to bioclimatic trend detection in the airborne pollen records of Catalonia (NE Spain). *Int J Biometeorol*, 58: 371-382.
- Fernández Rodríguez, S., Adams-Groom, B., Silva Palacios, I., Caeiro, E., Brandao, R., Ferro, R., Gonzalo Garijo, A., Smith, M. & Tormo Molina, R. (2014). Comparison of Poaceae pollen counts recorded at sites in Portugal, Spain and the UK. *Aerobiologia*. Doi 10.1007/s10453-014-9338-2.
- Ferreira, F., Hawranek, T., Gruber, P., Wopfner, N. & Mari, A. (2004). Allergic cross-reactivity: from gene to the clinic. *Allergy*, 59: 243-267.
- Flores, E., Cervera, L., Sanz, M.L., Díaz-Perales, A. & Fernández, J. (2012). Plant food allergy in patients with pollinosis from the Mediterranean area. *Int Arch Allergy Immunol*, 159(4): 346-354.
- Franze, T., Weller, M.G., Niessner, R. & Poschl, U. (2005). Protein nitration by polluted air. *Environ Sci Technol*, 39: 1673-1678.
- Frei, T. (1998). The effects of climate change in Switzerland 1969-1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass. *Grana*, 37: 172-179.
- Frenguelli, G., Spiekma, F.Th.M., Bricchi, E., Romano, B., Mincigrucci, G., Nikkels, A.H., Dankaart, W. & Ferranti, F. (1991). The influence of air temperature on the starting dates of the pollen season of *Alnus* and *Populus*. *Grana*, 30: 196-200.
- Frenguelli, G., Tedeschini, E., Veronesi, F. & Bricchi, E. (2002). Airborne pine (*Pinus* spp.) pollen in the atmosphere of Perugia (Central Italy): Behaviour of pollination in the two last decades. *Aerobiologia*, 18: 223-228.
- Frenguelli, G. (2003). Pollen structure and morphology. *Postep Derm Alergol*, 20: 200-204.
- Fuzzi, S., Andreae, M.O., Huebert, B.J., Kulmala, M., Bond, T.C., Boy, M., Doherty, S.J. & Guenther, A. (2006). Critical assessment of the current state of scientific knowledge, terminology and research needs concerning the role of organic aerosols in the atmosphere, climate and global change. *Atmos Chem Phys*, 6: 2017-2038.
- Gabarayeva, N., Grigorjeva, V. & Polevova, S. (2011). Exine and tapetum development in *Symphytum officinale* (Boraginaceae). Exine substructure and its interpretation. *Plant Syst Evol*, 296(1-2): 101-120.

- Gabarra, E., Belmonte, J. & Canela, M. (2002). Aerobiological behaviour of *Platanus* L. pollen in Catalonia (North-East Spain). *Aerobiologia*, 18: 185-193.
- Gadermaier, G., Dedic, A., Obermeyer, G., Frank, S., Himly, M., Ferreira, F. (2004). Biology of weed pollen allergens. *Curr Allergy Asthma Rep*, 4(5): 391-400.
- Galán, C., Emberlin, J., Domínguez, E., Bryant, R. H. & Villamandos, F. (1995). A comparative analysis of daily variations in the *Gramineae* pollen counts at Córdoba, Spain and London, UK. *Grana*, 34: 189-198.
- Galán, C., Alcázar, P., Cariñanos, P., García-Mozo, H. & Domínguez, E. (2000). Meteorological factors affecting daily Urticaceae pollen counts in southwest Spain. *Int J Biometeorol*, 43: 191-195.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P. & Domínguez, E. (2007). *Manual de Calidad y Gestión de la Red Española de Aerobiología*. Córdoba. Universidad de Córdoba. Córdoba. España.
- Galán, C., Antunes, C., Brandao, R., Torres, C., García-Mozo, H., Caeiro, E., Ferro, R., Prank, M., Sofiev, M., Albertini, R., Berger, U., Cecchi, L., Celenk, S., Grewling, Ł., Jackowiak, B., Jäger, S., Kennedy, R., Rantio-Lehtimäki, A., Reese, G., Sauliene, I., Smith, M., Thibaudon, M., Weber, B., Weichenmeier, I., Pusch, G. & Buters, J.T.M., on behalf of the HIALINE working group (2013). Airborne olive pollen counts are not representative of exposure to the major olive allergen Ole e 1. *Allergy*, 68: 809-812.
- Galán, I., Tobías, A., Banegas, J.R. & Aránguez, E. (2003). Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *Eur Respir J*, 22: 802-808.
- García, B.E., González-Mancebo, E., Barber, D., Martín, S., Tabar, A.I., Alonso Díaz de Durana, M.D., Garrido-Fernández, S., Salcedo, G., Rico, P. & Fernández-Rivas, M. (2010). Sublingual immunotherapy in peach allergy: monitoring molecular sensitizations and reactivity to apple fruit and *Platanus* pollen. *J Invest Allerg Clin Immunol*, 20(6): 514-520.
- García-Hernández, J.J. (2010). *Detección de los niveles de proteínas alergénicas en el aire de Olea europaea (Ole e 1). Cuantificación por métodos inmunológicos*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cartagena.
- García-Mozo, H., Galán, C., Gómez-Casero, M.T. & Domínguez-Vilches, E. (2000). A comparative study of different temperature accumulation methods to predicting the start of the *Quercus* pollen season in Córdoba (South West Spain). *Grana*, 39: 194-199.
- García-Mozo, H., Galán, C., Belmonte, J., Bermejo, D., Candau, P., Díaz de la Guardia, C., Elvira, B., Gutiérrez, M., Jato, V., Silva, I., Trigo, M. M., Valencia, R.M & Chuine, I. (2009). Predicting the start and peak dates of the Poaceae pollen season in Spain using process-based models. *Agr Forest Met*, 149: 256-262.
- García-Mozo, H., Galán, C., Alcázar, P., Díaz de la Guardia, C., Nieto-Lugilde, D., Recio, M., Hidalgo, P., González-Minero, F., Ruiz, L. & Domínguez-Vilches, E. (2010). Trends in grass pollen season in southern Spain. *Aerobiologia*, 26: 157-169.
- García-Mozo, H. (2011). The use of aerobiological data on agronomical studies. *Ann Agric Environ Med*, 18: 159-164.
- García Rollán, M. (1985). *Claves de la flora de España: (Península y Baleares)*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid.
- García Sánchez, J. (2012). *Estudio inmunológico de los principales aeroalérgenos de la atmósfera de Málaga: relación con el contenido polínico y con los parámetros meteorológicos*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.
- Gastaminza, G., Bartolomé, B., Bernedo, O., Uriel, M., Audicana, M.T., Echenagusia, M.A., Fernández, E. & Muñoz, D. (2005). Alergia al polen de las oleáceas en un lugar donde no hay olivos. *Alergol Inmunol Clin*, 20: 131-138.

- Giorato, M., Lorenzoni, F., Bordin, A., De Biasi, G., Gemignani, C., Schiappoli, M. & Marcer, G. (2000). Airborne allergenic pollens in Padua: 1991-1996. *Aerobiologia*, 16: 453-464.
- González, F.J. & Candau, P. (1997). Study on *Platanus hispanica* Miller pollen content in the air of Sevilla, southern Spain. *Aerobiología*, 13: 109-115.
- González, F.J., Iglesias, I., Jato, V., Aira, M.J., Candau, M.P., Morales, J. & Tomas, C. (1998). Study of the pollen emissions of Urticaceae, Plantaginaceae and Poaceae at five sites in western Spain. *Aerobiologia*, 14: 117-129.
- González, F.J., Morales, J., Tomás, C. & Candau, P. (1999). Relationship between air temperature and start of pollen emission in some arboreal taxa in Southwestern Spain. *Grana*, 38(5): 306-310.
- González-Díaz, S.N., Rodríguez-Ortiz, P.G., Arias-Cruz, A., Macias-Weinmann, A., Cid-Guerrero, D. & Sedo-Mejia, G.A. (2010). Atmospheric pollen count in Monterrey, Mexico. *Allergy Asthma Proc*, 31(4): 341-348.
- González-Minero, F.J., Candau, P. & Marroquin, A. (1993). *Relaciones entre aerobiología y meteorología*. Calendario Meteorológico 1993. Instituto Nacional de Meteorología.
- González Minero, F.J., Candau, P., Tomás, C. & Morales, J. (1997). Variación anual y estacional del polen de Urticaceae en el aire de Sevilla y su relación con los factores meteorológicos. *Polen*, 8: 69-77.
- González Minero, F.J., Candau, P., Tomás, C. & Morales, J. (1998). Airborne grass (Poaceae) pollen in southern Spain. Results of a 10-year study (1987-96). *Allergy*, 153: 266-274.
- González-Parrado, Z., Fuertes-Rodríguez, C.R., Vega-Maray, A.M., Valencia-Barrera, R.M., Rodríguez-Rajo, F.R. & Fernández-González, D. (2006). Chilling and heat requirements for the prediction of the beginning of the pollen season of *Alnus glutinosa* (L.) Gaertner in Ponferrada (León, Spain). *Aerobiologia*, 22: 47-53.
- González-Parrado, Z. (2010). *Estudio de partículas alérgicas de Plantago sp. y de los mecanismos relacionados con su presencia en la atmósfera*. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- Gottardini, E., Cristofolini, F., Paoletti, E., Lazzeri, P., Pepponi, G. (2004). Pollen viability for air pollution bio-monitoring. *J Atmos Chem*, 49: 149-159.
- Green, B.J., Dettmann, M., Yli-Panula, E., Rutherford, S. & Simpson, R. (2004). Atmospheric Poaceae pollen frequencies and associations with meteorological parameters in Brisbane, Australia: a 5-year record, 1994-1999. *Int J Biometeorol*, 48 (4): 172-178.
- Gregory, P.H., Monteith, J.L. & Scourfield, M. (1967). *Airborne Microbes*. Seventeenth Symposium of the Society for General Microbiology. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gregory, P.H. (1973). *Microbiology of the atmosphere*. Leonard Hill Books, London.
- Grize, L., Gassner, M., Wüthrich, B., Bringolf-Isler, B., Takken-Sahli, K., Sennhauser, F.H., Stricker, T., Eigenmann, P.A. & Braun-Fahrländer, C. (2006). Trends in prevalence of asthma, allergic rhinitis and atopic dermatitis in 5-7-year old Swiss children from 1992 to 2001. *Allergy*, 61(5): 556-62.
- Grobe, K., Becker, W.M., Schlaak, M. & Petersen, A. (1999). Grass group I allergens (b-expansins) are novel, papain-related proteinases. *Eur J Biochem*, 263(1): 33-40.
- Grote, M., Vrtala, S. & Valenta, R. (1993). Monitoring of two allergens, Bet v I and profilin, in dry and rehydrated birch pollen by immunogold electron microscopy and immunoblotting. *J Histochem Cytochem*, 41(5): 745-750.
- Grote, M., Stumvoll, S., Reichelt, R., Lidholm, J. & Valenta, R. (2005). Identification of an allergen related to Phl p 4, a major timothy grass pollen allergen, in pollens, vegetables, and fruits by immunogold electron microscopy. *Biol Chem*, 383(9): 1441-1445.

- Grujthuisen, Y.K., Grieshuber, I., Stocklinger, A., Tischler, U., Fehrenbach, T., Weller, M.G., Vogel, L., Vieths, S., Poschl, U. & Duschl, A. (2006). Nitration enhances the allergenic potential of proteins. *Int. Arch. Allergy Immunol*, 141: 265-275.
- Guidós, G.A. & Almeida, V.M. (2005). Polinosis y aeroalérgenos. *Alergia asma e inmunología pediátrica*, 14 (2): 52-55.
- Gutiérrez-Bustillo, M., Sáenz, C., Aránguez, E., Ordoñez, J.M. (2001). *Polen atmosférico de la Comunidad de Madrid*. Documentos Técnicos de salud pública de la Comunidad de Madrid, nº 70.
- Gutiérrez-Bustillo, M., Cervigón, P. & Pertiñez, C. (2002). Aerobiología en Madrid: Estación de Ciudad Universitaria (2000-2001). *Rea*, 7: 225-230.
- Harrison, B.H. & Feder, W.A. (1974). Ultrastructural changes in pollen exposed to ozone. *Phytopathol*, 64: 257-258.
- Hauser, M., Roulias, A., Ferreira, F. & Egger, M. (2010). Panallergens and their impact on the allergic patient. *Allergy Asthma Clin Immunol*, 6: 1.
- Helander, M.L., Savolainen, J & Ahlholm, J. (1997). Effects of air pollution and other environmental factors on birch pollen allergens. *Allergy*, 52(12): 1207-1214.
- Herrero, B. (1994). *Estudio del contenido de polen y esporas de la atmósfera de la ciudad de Palencia*. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- Hervés García, M. (2005). *Estudio aerobiológico en cuatro localidades gallegas. Análisis comparativo y modelos de pronóstico*. Tesis Doctoral. Universidad de Santiago de Compostela.
- Heslop-Harrison, J. & Heslop-Harrison, Y. (1991). *Structural and functional variation in pollen intines*. In S. Blackmore, S. H. Barnes (Eds), *Pollen and spores. Patterns of diversification*. 331-343. Oxford: Clarendon Press.
- Hesse, M. (1991). Different mass densities by ESI in pollenkitt and pollen wall layers. *Eur J Cell Biol*, 34: 11.
- Hesse, M. (1993). Pollenkitt development and composition in *Tilia platyphyllos* (Tiliaceae) analysed by conventional and energy filtering TEM. *Plant Syst Evol*, 7: 39-52.
- Hesse, M., Halbritter, H., Zetter, R., Weber, M., Buchner, R. & Frosch-Radivo, A. (2009). *Pollen terminology. An illustrated handbook*. SpringerWein, New York.
- Heumann, W.L. (1997). *Industrial air pollution Control Systems*. Mc Graw Hill, Inc, US.
- Hirst, J.M. (1952). An automatic volumetric spore trap. *Ann Appl Biol*, 39: 257-265.
- Hjelmroos, M. (1991). Evidence of long-distance transport of *Betula* pollen. *Grana*, 30: 215-228.
- Hjelmroos, M., Schumacher, M. & Hage-Hamsten, M. (1994). Variation in birch pollen (*Betula verrucosa*) allergens between different trees in view of both their provenance and air pollution. In: Agashe, S., Chanda, S., Paramesh, H., Rao, C.K., Singh, A.B. & Sullia, S. B. (Eds). *5th Int. Conf. Aerobiol. Bangalore, Abstracts*. Org. Comm./Bangalore Univ. Bangalore, pp. 14.
- Hoffmann-Sommergruber, K. (2000). Plant allergens and pathogenesis-related proteins. *Int Arch Allergy Immunol*, 122: 155.
- Holgate, S.T. & Broide, D. (2003). New targets for allergic rhinitis: a disease of civilization. *Nat Rev Drug Discov*, 2(11): 902-914.
- Hrabina, M. (2007). Inmunología molecular de los alérgenos de los pólenes de gramíneas. *Expresión sobre inmunoterapia específica*, 26: 8-12.
- Hrabina, M., Peltre, G., Van Ree, R. & Moingeon, P. (2008). Grass pollen allergens. *Clin Exp Allergy Rev*, 8(1): 7-11.

- Huber, B. (2006). 100 years of allergy: Clemens von Pirquet - his concept of allergy and his basic understanding of the disease. Part 2: The Pirquet concept of allergy. *Wien Klin Wochenschr*, 118(23-24): 718-727.
- Huecas, S. (2001). *Biología molecular y caracterización inmunológica de dos alérgenos principales del polen de olivo: Ole e 1 y Ole e 9*. Tesis Doctoral. Universidad Complutense de Madrid.
- Hulskamp, M., Kopczak, S.D., Horejsi, T.F., Kihl, B.K. & Pruitt, R.E. (1995). Identification of genes required for pollen-stigma recognition in *Arabidopsis thaliana*. *Plant J*, 8: 703-714.
- Huynen, M. & Menne, B. (2003). *Phenology and human health: Allergic disorders*. Report of a WHO meeting, Rome, Italy.
- Ibarrola, I., Arilla, M.C., Martínez, A., Asturias, J.A. (2004). Identification of a polygalacturonase as a major allergen (Pla a 2) from *Platanus acerifolia* pollen. *J Allergy Clin Immunol*, 113(6): 1185-1191.
- Igea, J.M. (2011). *La toxina polínica herbida y el origen de la inmunoterapia*. Calatrava ediciones médicas singulares. Madrid.
- Iglesias, I., Aira, M.J. & Jato, V. (1998). Poaceae pollen in the atmosphere of Santiago de Compostela: its relationship with meteorology. *Aerobiología*, 14: 141-146.
- Iglesias, I., Rodríguez-Rajo, F. J. & Méndez, J. (2007). Behavior of *Platanus hispanica* pollen, an important spring aeroallergen in northwestern Spain. *J Investig Allergol Clin Immunol*, 17(3): 145-156.
- Iraola, V., Gallego, M.T., López-Matas, M.A., Morales, M., Bel, I., García, N. & Carnés, J. (2012). Immunogenicity of *Phleum pratense* depigmented allergoid vaccines: experimental study in rabbits. *J Investig Allergol Clin Immunol*, 22(1): 35-40.
- Isard, S. & Gage, S. (2000). *Flow of life in the atmosphere: An airscoop approach to understanding invasive organisms*. Michigan State University Press, East Lansing, Michigan.
- Jackson, M. (2001). Allergy: the making of a modern plague. *Clin Exp Allergy*, 31: 1665-1671.
- Jäger, S., Nilsson, S., Berggren, B., Pessi, A.M., Helander, M. & Ramfjord, H. (1996). Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980-1993. A comparison between Stockholm, Trondheim, Turku and Vienna. *Grana*, 35: 171-178.
- Jato, V., Rodríguez, F.J. & Seijo, M.C. (2000). *Pinus* pollen in the atmosphere of Vigo and its relationship to meteorological factors. *Int J Biometeorol*, 43: 147-153.
- Jato, V., Dopazo, A. & Aira, M.J. (2001). Airborne pollen data of Platanaceae in Santiago de Compostela (Iberian Peninsula). *Aerobiología*, 17: 143-149.
- Jato, V., Dopazo, A. & Aira, M.J. (2002). Influence of precipitation and temperature on airborne pollen concentration in Santiago de Compostela (Spain). *Grana*, 41: 232-241.
- Jato, V., Rodríguez-Rajo, F.J., Alcázar, P., De Nuntiis, P., Galán, C. & Mandrioli, P. (2006). May the definition of pollen season influence aerobiological results? *Aerobiología*, 22: 13-25.
- Jato, V., Rodríguez-Rajo, F.J., Iglesias, I. & Aira, M.J. (2008). *Estudio aerobiológico Galicia 2007. Calidad del aire*. Xunta de Galicia, Dirección Xeral de Calidade e Avaliación Ambiental. Santiago de Compostela.
- Jato, V., Rodríguez-Rajo, F.J., Seijo, M.C. & Aira, M.J. (2009). Poaceae pollen in Galicia (N.W. Spain): characterization and recent trends in atmospheric pollen season. *Int J Biometeorol*, 53(4): 333-344.
- Jato, V., Rodríguez-Rajo, F.J., González-Parrado, Z., Elvira-Rendueles, B., Moreno-Grau, S., Vega-Maray, A.M., Fernández-González, D., Asturias, J.A., Suárez-Cervera, M. (2010). Detection of airborne Par j 1 and Par j 2 allergens in relation to pollen counts in different bioclimatic areas. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 105: 50-56.

- Jorres, R., Nowak, D. & Magnussen, H. (1996). The effect of ozone exposure on allergen responsiveness in subjects with asthma or rhinitis. *Am J Respir Crit Care Med*, 153(1): 56-64.
- Kagamimori, S.M., Katoh, T., Naruse, Y., Watanabe, M., Shinrai, J. & Kawano, S. (1986). The changing prevalence of respiratory symptoms in atopic children in response to air pollution. *Clin Allergy*, 16: 299-308.
- Kaiser, W.M., Hofler, M. & Heber, U. (1993). Can plants exposed to SO₂ excrete sulphuric acid through the roots? *Physiol Plant*, 87, 61-67.
- Kangasjärvi, J., Jaspers, P. & Kollist, H. (2005). Signalling and cell death in ozoneexposedplants. *Plant Cell Environ*, 28: 1021-1036.
- Kanter, U., Heller, W., Durner, J., Winkler, J.B., Engel, M., Behrendt, H., Holzinger, A., Braun, P., Hauser, M., Ferreira, F., Mayer, K., Pfeifer, M. & Ernst, D. (2013). Molecular and immunological characterization of ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen after exposure of the plants to elevated ozone over a whole growing season. *PLoS One*, 8: e61518.
- Karnosky, D.F. & Stairs, G.R. (1974). The effects of SO₂ on in vitro forest tree pollen germination and tube elongation. *J Environ Qual*, 3: 405-409.
- Kasprzyk, I. & Walanus, A. (2010). Description of the main Poaceae pollen season using bi-Gaussian curves, and forecasting methods for the start and peak dates for this type of season in Rzeszow and Ostrowiec Sw. (SE Poland). *J Environ Monit*, 12(4): 906-916.
- Katellaris, C.H., Burke, T.V. & Byth, K. (2004). Spatial variability in the pollen count in Sydney, Australia: can one sampling site accurately reflect the pollen count for a region? *Ann Allergy Asthma Immunol*, 93: 131-136.
- Kay, A.B. (2006). 100 years of "Allergy": can von Pirquet's word be rescued? *Clin Exp Allergy*, 36: 555-559.
- King, T.P., Hoffman, D., Lowenstein, H., Marsh, D.G., Platts-Mills, T.A. & Thomas, W.R. (1994a). Allergen nomenclature. *B World Health Organ*, 72: 797-800.
- King, T.P., Hoffman, D., Lowenstein, H., Marsh, D.G., Platts-Mills, T.A. & Thomas, W. R. (1994b). Allergen nomenclature. WHO/IUIS Allergen Nomenclature Subcommittee. *Int Arch Allergy Immunol*, 105: 224-233.
- King, T.P., Hoffman, D., Lowenstein, H., Marsh, D.G., Platts-Mills, T.A. & Thomas, W. (1995). Allergen nomenclature. *Allergy*, 50:765-774.
- Knox, R.B. & Heslop-Harrison, J. (1970). Pollen-wall proteins: cytochemical localization and enzymatic activity. *J. Cell. Sci*, 6: 1-27.
- Knox, R.B. (1971). Pollen wall proteins. Localization, enzymic and antigenic activity during development in *Gladiolus* (Iridaceae). *J Cell Sci*, 9: 209-237.
- Knox, R.B. (1993). Grass pollen, thunderstorms and asthma. *Clin Exp Allergy*, 23: 354-359.
- Knox, R.B. & Suphioglu, C. (1996). Environmental and molecular biology of pollen allergens. *Trends Plant Sci*, 1(5): 156-164.
- Knox, R.B., Suphioglu, C., Taylor, P., Desai, R., Watson, H.C., Peng, J.L. & Bursill, L.A. (1997). Major grass pollen allergen Lol p 1 binds to diesel exhaust particles: implications for asthma and air pollution. *Clin Exp Allergy*, 27(3): 246-251.
- Koch, J.R., Scherzer, A.J., Eshita, S.M. & Davis, K.R. (1998). Ozone sensitivity in hybrid poplar is correlated with a lack of defense gene activation. *Plant Physiol*, 118: 1243-1252.
- Koerner, T.B., Abbott, M., Godefroy, S.B., Popping, B., Yeung, J.M., Diaz-Amigo, C., Roberts, J., Taylor, S.L., Baumert, J.L., Ulberth, F., Wehling, P. & Koehler, P. (2013). Validation

- procedures for quantitative gluten ELISA methods: AOAC allergen community guidance and best practices. *J AOAC Int*, 96(5): 1033-1040.
- Kosisky, S.E., Marks, M.S. & Nelson, M.R. (2010). Pollen aeroallergens in the Washington, DC, metropolitan area: a 10-year volumetric survey (1998-2007). *Ann Allergy Asthma Immunol*, 104(3): 223-35.
- Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliguer, P., Herry, M., Horak, F. Jr., Puybonnieux-Textier, V., Quenel, P., Schneider, J., Seethaler, R., Vergnaud, J.C. & Sommer, H. (2000). Public-Health impact of outdoor and traffic related air pollution: a European assessment. *Lancet*, 356: 795-801.
- Laaidi, M. (2001). Forecasting the start of the pollen season of Poaceae: evaluation of some methods based on meteorological factors. *Int J Biometeorol*, 45(1): 1-7.
- Laatikainen, T., von Hertzen, L., Koskinen, J., Mäkelä, M.J., Jousilahti, P., Kosunen, T.U., Vlasoff, T., Ahlström, M., Vartiainen, E. & Haahtela, T. (2011). Allergy gap between Finnish and Russian Karelia on increase. *Allergy*, 66(7): 886-892.
- Ladeira, S., Nunes, C., Ferro, R., Martins, M., Caeiro, E., Antunes, C., Brandao, R. & (2011). Grass and *Olea* airborne pollen allergens in outdoor air samples and its correlation with pollen counts. *J Allergy Clin Immunol*, 127(2): 172.
- Larramendi, C. H., Ferrer, A., Huertas, A. J., Garcia-Abujeta, J. L., Andreu, C., Tella, R., Cerdà, M.T., Bartra, J., Lavín, J.R., Pagán, J.A., López-Matas, M.A., Fernández-Caldas, E. & Carnés, J. (2008). Sensitization to tomato peel and pulp extracts in the Mediterranean Coast of Spain: prevalence and co-sensitization with aeroallergens. *Clin Exp Allergy*, 38(1): 169-177.
- Larsen, J.N. & Lowenstein, H. (1996). Allergen nomenclature. *J Allergy Clin Immunol*, 97: 577-578.
- Larsson, K.A. & Nilsson, S. (1991). An attempt to predict the start, peak and end of a pollen season. *Grana*, 30: 281.
- Larson, C., Francl, L.J. & Friesen, T. (2001). Evaluation of the Burkard Cyclonic Spore Sampler for collection efficiency of ascospores. *Plant Disease*, 85(12): 1249-1252.
- Latorre, F. & Belmonte, J. (2004). Temporal and spatial distribution of atmospheric Poaceae pollen in Catalonia (NE Spain) in 1996- 2001. *Grana*, 43: 156-163.
- Lauer, I., Miguel-Moncin, M.S., Abel, T., Foetisch, K., Hartz, C., Fortunato, D., Cistero-Bahima, A., Vieths, S., Scheurer, S. (2007). Identification of a plane pollen lipid transfer protein (Pla a 3) and its immunological relation to the peach lipid-transfer protein, Pru p 3. *Clin Expl Allergy*, 37(2): 261-269.
- Leakey, A.D., Ainsworth, E.A., Bernacchi, C.J., Rogers, A., Long, S.P. & Ort, D.R. (2009). Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen and water relations: six important lessons from FACE. *J Exp Bot*, 60: 2859-2876.
- Lejoly-Gabriel, M. & Leuschner, R.M. (1983). Comparison of air-borne pollen at Louvain-la-Neuve (Belgium) and Basel (Switzerland) during 1979 and 1980. *Grana*, 22: 59-64.
- León-Ruiz, E., Alcázar, P., Domínguez-Vilches, E. & Galán, C. (2011). Study of Poaceae phenology in a Mediterranean climate. Which species contribute most to airborne pollen counts? *Aerobiologia*, 27(1): 37-50.
- Leuschner, R.M. & Boehm, G. (1981). Pollen and inorganic particles in the air of climatically very different places in Switzerland. *Grana*, 20: 161-167.
- Leuschner, R.M., Christen, H., Jordan, P. & Vonthein, R. (2000). 30 years of studies of grass pollen in Basel (Switzerland). *Aerobiologia*, 16: 381-391.
- Leventin, E. (1998). A long-term study of winter and early spring tree pollen in the Tulsa, Oklahoma atmosphere. *Aerobiologia*, 14: 21-28.

- Lewis, S.A., Corden, J.M., Forster, G.E. & Newlands, M. (2000). Combined effects of aerobiological pollutants, chemical pollutants and meteorological conditions on asthma admissions and A & E attendances in Derbyshire UK, 1993-96. *Clin Exp Allergy*, 30: 1724-1732.
- Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera. B.O.E. n° 275 de 16 de noviembre de 2007.
- Linskens, H.F. (1964). Pollen physiology. *Annu Rev Plant Physiol*, 15: 255-270.
- Loureiro, G., Rabaca, M.A., Blanco, B., Andrade, S., Chieira, C. & Pereira, C. (2005). Aeroallergens sensitization in an allergic pediatric population of Cova da Beira, Portugal. *Allergol Immunopathol*, 33(4): 192-198.
- Lu, S., Shao, L., Wu, M., & Jiao, Z. (2006). Mineralogical characterization of airborne individual particulates in Beijing PM10. *J Environ Sci*, 18(1): 90-95.
- Lu, S., Yao, Z., Chen, X., Wu, M., Sheng, G., Fu, J. & Daly, P. (2008). The relationship between physicochemical characterization and potential toxicity of fine particulate matter (PM2.5) in Shanghai atmosphere. *Atmos Environ*, 42: 7205-7214.
- Lu, S., Zhang, R., Yao, Z., An, J., Zhong, Y., Wu, M., Sheng, G., Fu, J., Yonemochi, S., Zhang, J., Wang, Q. & Donaldson, K. (2011). Physicochemical characterization and cytotoxicity of ambient coarse, fine, and ultrafine particulate matters in Shanghai atmosphere. *Atmos Environ*, 45: 736-744.
- Lu, S., Ren, J., Hao, X., Liu, D., Zhang, R., Wu, M., Yi, F., Lin, J., Shinich, Y. & Wang, Q. (2014). Characterization of protein expression of *Platanus* pollen following exposure to gaseous pollutants and vehicle exhaust particles. *Aerobiologia*, 30: 281-291.
- Luengo, O. & Cadahía, A. (2003). Polinosis por *Parietaria*. *Alergol Inmunol Clin*, 18 (3): 61-85.
- Main, C.E., Keever, T. & Thurman, J. (2000). Particle release, data collection and analysis. In: P. Mandrioli, P., Isard, S. & Main, C. (Eds). *Field Measurements in Aerobiology*. ISAO-CNR, Bologna, Italy.
- Majd, A. & Mohamadi, S. (1992). Effect of certain toxins and air pollution on pollen development of *Glycine max*. *J Islamic Azad University*, 649-651.
- Majd, A., Chehregani, A., Moin, M., Gholami, M., Kohno, S., Nabe, T., Shariatzade, M.A. (2004). The effects of air pollution on structures, proteins and allergenicity of pollen grains. *Aerobiologia*, 20: 111-118.
- Makra, L. & Matyasovszky, I. (2011). Trends in the characteristics of allergenic pollen in Szeged, Hungary. *Acta Climatol Chorol*, 44-45: 111-125.
- Makra, L., Matyasovszky, I. & Deák, A.J. (2011). Trends in the characteristics of allergenic pollen circulation in central Europe based on the example of Szeged, Hungary. *Atmos Environ*, 41: 7011-7021.
- Mandrioli, P., Negrini, M. G., Scarani, C., Tampieri, F. & Trombetti, F. (1980). Mesoscale transport of *Corylus* pollen grains in winter atmosphere. *Grana*, 19: 227-233.
- Mandrioli, P., Comtois, P. & Levizzani, V. (1998). *Methods in Aerobiology*. Pitagora Editrice, Bologna, Italy.
- Mandrioli, P. (2000). *Method for sampling and counting of airborne pollen and fungal spores*. ISAO-CNR. Bologna, Italy.
- Mandrioli, P., Caneva, G. & Sabbioni C. (2003). *Cultural heritage and Aerobiology*. Kluwer Academic Publisher, Londres, Inglaterra.
- Mari, A. (2003). Skin test with a timothy grass (*Phleum pratense*) pollen extract vs. IgE to a timothy extract vs. IgE to rPhl p 1, rPhl p 2, nPhl p 4, rPhl p 5, rPhl p 6, rPhl p 7, rPhl p 11, and rPhl p 12: epidemiological and diagnostic data. *Clin Exp Allergy*, 33(1):43-51.

- Mario, G. (2001). Cien años de anafilaxia. *Alergol Inmunol Clin*, 16: 364-368.
- Marknell DeWitt, A, Niederberger, V., Lehtonen, P., Spitzauer, S., Sperr, W.R., Valent, P., Valenta, R. & Lindholm, J. (2002). Molecular and immunological characterization of a novel timothy grass (*Phleum pratense*) pollen allergen, Phl p 11. *Clin Exp Allergy*, 32(9): 1329-1340.
- Marks, G.B., Colquhoun, J.R., Girgis, S.T., Koski, M.H., Treloar, A.B., Hansen, P., Downs, S.H. & Car, N.G. (2001). Thunderstorm out flows preceding epidemics of asthma during spring and summer. *Thorax*, 56: 468-471.
- Márquez, J. (1996). *Estudio del componente palinológico de la atmósfera de Vitoria y su incidencia en la salud pública*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Márquez, J., Seoane-Camba, J.A. & Suárez-Cervera, M. (1997a). Allergenic and antigenic proteins released in the apertural sporoderm during the activation process in grass pollen. *Sex Plant Rep*, 10: 269-278.
- Márquez, J., Seoane-Camba, J.A. & Suarez-Cervera, M. (1997b). The role of the intine and cytoplasm in the activation and germination processes of Poaceae pollen grains. *Grana*, 36(6): 328-342.
- Martínez, A. & Asturias, J.A. (2000). Relevancia alergénica de las profilinas. *Alergol Inmunol Clin*, 15: 114-134.
- Martínez, A., Asturias, J.A., Monteseirin, J., Moreno, V., García-Cubillana, A., Hernandez, M., De La Calle, A., Sánchez-Hernández, C., Pérez-Formoso, J.L. & Conde, J. (2002). The allergenic relevance of profilin (Ole e 2) from *Olea europaea* pollen. *Allergy*, 57(71): 17-23.
- Martínez-Fernández, J., Miguel-Valor, N. & Perote-Alejandre, A. (2011). *Alergias alimentarias ¿y ahora qué?* International Marketing and Communication SA. Madrid.
- Masuch, G., Franz, J.Th., Shcoene, K. Musken, H. & Bergmann, K.Ch. (1997). Ozone increases group 5 allergen content of *Lolium perenne*. *Allergy*, 52: 874-875.
- Matthews, J. D. (1963). Factors affecting the production of seed by forest trees. *Forestry Abstr*, 24: 1-13.
- Mazzarella, G., Esposito, V., Bianco, A., Ferraraccio, F., Prati, M.V., Lucariello, A., Manente, L., Mezzogiorno, A. & De Luca, A. (2012). Inflammatory effects on human lung epithelial cells after exposure to diesel exhaust micron sub particles PM₁ and pollen allergens. *Environ pollut*, 161: 64-69.
- McDonald, M.S. (1980). Correlations of air-borne grass pollen levels with meteorological data. *Grana*, 19: 53-56.
- Melgar, M. (2010). *Comparación de dos estaciones aerobiológicas situadas en regiones bioclimáticas diferentes: Málaga (sur de España) y Münster (noroeste de Alemania)*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.
- Menzel, A. (2002). Phenology: its importance to the global change community. *Clim Chang*, 54: 379.
- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, E., Ahas, R., Alm-Kübler, K., Bissolli, P., Braslavská, O., Briede, A., Chmielewski, F.M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Fililla, Y., Jatzak, K., Måge, F., Mestre, A., Nordli, Ø., Peñuelas, J., Pirinen, P., Remišová, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A.J.H., Wielgolaski, F.E., Zach, S. & Zust, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Glob Chang Biol*, 12: 1969-1976.
- Mészáros, E. (1999). *Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry*. Akadémiai Kiado, Budapest.
- Miki-Hirosige, H., Nakamura, S., Yasueda, H., Shida, T. & Takahashi, Y. (1994). Immunocytochemical localization of the allergenic proteins in the pollen of *Cryptomeria japonica*. *Sex Plant Reprod*, 7: 95-100.

- Miller, N.L. & Wang, P.K. (1988). Theoretical determination of the efficiency of aerosol particle collection by falling columnar ice crystals. *J Atmos Sci*, 46(12): 1656-1663.
- Mohapatra, S.S., Lockey, R.F. & Shirley, S. (2005). Immunobiology of grass pollen allergens. *Curr Allergy Asthma Rep*, 5 (5): 381-387.
- Moore, P.D., Webb, J.A. & Collinson, M. (1991). *Pollen Analysis*. Londres: Blackwell.
- Moral, A.J., Senent, C.J., Cabañes, N., García, Y. & Gómez, M. (1998). Pólenes alergénicos y polinosis en Toledo durante 1995-96. *Rev Es Alergol Inmunol Clín*, 13(2): 126-134.
- Moreno-Grau, S., Elvira-Rendueles, B., Moreno, J., García-Sánchez, A., Vergara, N., Asturias, J. A., Arilla, M.C., Ibarrola, I., Seoane-Camba, J.A. & Suárez-Cervera, M. (2006). Correlation between *Olea europaea* and *Parietaria judaica* pollen counts and quantification of their major allergens Ole e 1 and Par j 1-Par j 2. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 96: 858-864.
- Morrow, P.E. (1974). Aerosol characterization and deposition. *Am Rev Respir Dis*, 110 (Sup.): 88-90.
- Motta, A.C., Marliere, M., Peltre, G., Sterenberg, P.A. & Lacroix, G. (2006). Traffic related air pollutants induce the release of allergen containing cytoplasmic granules from grass pollen. *Int Arch Allergy Immunol*, 139: 294-298.
- Mullenders, W., Dirickx, M., Van Der Haegen, D., Bastin-Servais, D. & Desair Coremans, M. (1972). La pluie pollinique à Louvain. *Louvain Med*, 91: 159-176.
- Mygind, N., Dahl, R., Pedersen, S. & Thestrup-Pedersen K. (1996). *Essential Allergy*. Blackwell Science, Oxford.
- Nafría, D.A., Garrido, N., Álvarez, M.V., Cubero, D., Fernández, M., Villarino, I., Gutiérrez, A. & Abia, I. (2013). *Atlas Agroclimático de Castilla y León*. ITACYL-AEMET.
- Negrini, A.C. (1992). Pollens as allergens. *Aerobiologia*, 8: 9-15.
- Newnham, R.M. (1999). Monitoring biogeographical response to climate change: The potential role of aeropalynology. *Aerobiologia*, 15: 87-94.
- Niederberger, V., Laffer, S., Froschl, R. Kraft, D., Rumpold, H., Kapiotis, S., Valenta, R., Spitzauer, S. (1998). IgE antibodies to recombinant pollen allergens (Phl p 1, Phl p 2, Phl p 5 and Bet v 2) account for a high percentage of grass pollen-specific IgE. *J Allergy Clin Immunol*, 101:258-264.
- Nieto Lugilde, D. (2008). *Estudio aerobiológico de la zona costera de la provincia de Granada (Motril): Evolución de las concentraciones de polen y esporas*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada.
- Nilsson, S. & Persson, S. (1981). Three pollen spectra in the Stockholm region (Sweden), 1973-1980. *Grana*, 20: 179-182.
- Nilsson, S. (1992). Aerobiology: an interdisciplinary and limitless science. *Int J Aerobiol*, Special issue: 23-27.
- Norris-Hill, J. (1998). A method to forecast the start of the *Betula*, *Platanus* and *Quercus* pollen seasons in North London. *Aerobiologia*, 14: 165-170.
- Okuyama, Y., Matsumoto, K., Okochi, H., & Igawa, M. (2007). Adsorption of air pollutants on the grain surface of Japanese cedar pollen. *Atmos Environ*, 41(2): 253-260.
- Omasa, K., Saji, H., Youssefian, S. & Kondo, N. (2002). *Air Pollution and Plant Biotechnology*. Springer-Verlag, Tokio.
- Orden SAN/417/ 2010, de 26 de marzo, por la que se crea el Registro Aerobiológico de Castilla y León. BOCyL nº 66 de 8 de abril de 2010.
- Oteros, J., Galán, C., Alcázar, P. & Domínguez-Vilches, E. (2013). Quality control in bio-monitoring networks, Spanish Aerobiology Network. *Sci Total Environ*, 443: 559-565.

- Pacini, E. & Franchi, G.G. (1993). Role of the tapetum in pollen and spore dispersal. *Plant Syst Evol*, 7(Sup.): 1-11.
- Pacini, E., Franchi, G.G., Lisci, M. & Nepi, M. (1997). Pollen viability related to type of pollination in six angiosperm species. *Ann Bot*, 80: 83-87.
- Pacini, E. & Hesse, M. (2005). Pollenkitt: its composition, forms and functions. *Flora*, 200: 399-415.
- Parui, S., Mondal, A.K. & Mandal, S. (1998). Protein content and protein skin test sensitivity of the pollen of *Argemone* on exposure to SO₂. *Grana*, 37: 121-124.
- Pathirane, L. (1975). Aerobiological literature in scientific periodicals. *Grana*, 15: 145-147.
- Paul, W., Hodge, R., Smartt, S., Draper, J. & Scott, R. (1992). The isolation and characterization of the tapetum-specific *Arabidopsis thaliana* A9 gene. *Plant Mol Biol*, 19: 611-622.
- Paulino, R., Tormo, R., Silva, I. & Muñoz, A.F. (2002). Aerobiología en Extremadura: Estación de Cáceres (2000-2001). *Rea*, 7: 177-182.
- Pazouki, N., Sankian, M., Nejdassattari, T., Khavari-Nejad, R. A. & Varasteh, A.R. (2008). Oriental plane pollen allergy: identification of allergens and cross-reactivity between relevant species. *Allergy Asthma Proc*, 29(6): 622-628.
- Pazouki, N., Sankian, M., Leung, P. T., Nejdassattari, T., Khavari-Nejad, R.A. & Varasteh, A.R. (2009). Identification of cyclophilin as a novel allergen from *Platanus orientalis* pollens by mass spectrometry. *J Biosci Bioeng*, 107(2):215-7.
- Peden, D.B., Setzer, R.W. & Dvlin, R.B. (1995). Ozone exposure has both a priming effect on allergen-induced responses and an intrinsic inflammatory action in the nasal airways of perennially allergic asthmatics. *Am J Respir Crit Care Med*, 151(5): 1336-1345.
- Pehkonen, E. & Rantio-Lehtimäki, A. (1994). Variations in airborne pollen antigenic particles caused by meteorologic factors. *Allergy*, 49(6): 472-477.
- Peternel, R., Srncic, L., Culig, J., Hrga, I. & Hercog, P. (2006). Poaceae pollen in the atmosphere of Zagreb (Croatia), 2002-2005. *Grana*, 45: 130-136.
- Piédrola, G., Domínguez, M., Cortina, P., Gálvez, R., Sierra, A., Sáenz, M. C. (1988). *Medicina Preventiva y Salud Pública* (8ª edición). Barcelona: Salvat Editores S.A.
- Piotrowska, K. & Weryszko-Chmielewska, E. (2003). Pollencount of selected taxa in the atmosphere of Lublin using two monitoring methods. *Ann Agric Environ Med*, 10: 79-85.
- Pohl, K. (1930). Kittstoffreste auf der Pollenoberfläche windblütiger Pflanzen. Untersuchum zur Morphologie und Biologie des Pollens II. *Beih Bot Zbl Abt A*, 46: 286-305.
- Pope, F.D. (2010). Pollen grains are efficient cloud condensation nuclei. *Environ Res Lett*, 5: 6.
- Porsbjerg, C., Rasmussen, A. & Backer, V. (2003). Airborne pollen in Nuuk, Greenland, and the importance of meteorological parameters. *Aerobiología*, 19: 29-37.
- Postigo, I., Guisantes, J.A., Negro, J.M., Rodríguez-Pacheco, R. & David-García, D. (2009). Identification of 2 New Allergens of *Phoenix dactylifera*. Using an Immunoproteomics Approach. *J Invest Allergol Clin Immunol*, 19(6): 504-507.
- Prieto, J.C., De Pablos, L., Domínguez, E. & Galán, C. (2002). Aerobiología en Ciudad Real: Estación de Ciudad Real (2000-2001). *Rea*, 7: 113-118.
- Prieto-Baena, J.C., Hidalgo, P., Domínguez, E. & Galán, C. (2003). Pollen production in the Poaceae family. *Grana*, 42: 153-160.
- Puc, M. & Puc, M.I. (2004). Allergenic airborne grass pollenin Szczecin, Poland. *Ann Agric Environ Med*, 11: 237-244.
- RACYL; <http://www.saludcastillayleon.es/ciudadanos/es/polen/> (consultada el 24 de julio de 2014).

- Radauer, C. & Breiteneder, H. (2006). Pollen allergens are restricted to few protein families and show distinct patterns of species distribution. *J Allergy Clin Immunol*, 117(1): 141-147.
- Radauer, C., Willerroider, M., Fuchs, H., Hoffmann-Sommergruber, K., Thalhamer, J., Ferreira, F., Scheiner O. & Breiteneder, H. (2006). Cross-reactive and species-specific immunoglobulin epitopes of plant profilins: an experimental and structure-based analysis. *Clin Exp Allergy*, 36(7): 920-929.
- Rantio-Lehtimäki, A., Viander, M. & Koivikko, A. (1994). Airborne birch pollen antigens in different particle sizes. *Clin Exp Allergy*, 24(1): 23-28.
- Rapp, A., Vaquero, C., Padilla, S. & Perez-Badia, R. (2012). Relation between airborne *Platanus* pollen counts and Pla a 1 allergen levels in Central Spain. *Allergol Immunol*, 9 (2-3): 173.
- Raulf, M., Buters, J., Chapman, M., Cecchi, L., de Blay, F., Doekes, G., Eduard, W., Heederik, D., Jeebhay, M.F., Kespohl, S., Krop, E., Moscato, G., Pala, G., Quirce, S., Sander, I., Schlünssen, V., Sigsgaard, T., Walusiak-Skorupa, J., Wiszniewska, M., Wouters, I.M. & Annesi-Maesano, I. (2014). Monitoring of occupational and environmental aeroallergens – EAACI Position Paper. *Allergy*, 69(10): 1280-99.
- Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire. BOE nº 25, de 29 de enero de 2011.
- Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre 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. BOE nº 260, de 30 de octubre de 2002.
- Recio, M. (1995). *Análisis polínico de la atmósfera de Málaga (1991-1994). Relación con los parámetros meteorológicos*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga
- Recio, M., Trigo, M.M., Toro, F.J., Docampo, S. & Cabezudo, B. (2000). Estudio aerobiológico de la localidad de Antequera (Málaga, España): 1998-1999. *Acta Botánica Malacitana*, 25: 165-174.
- Recio, M., Rodríguez-Rajo, F.J., Jato, M.V., Trigo, M.M. & Cabezudo, B. (2009). The effect of recent climatic trends on Urticaceae pollination in two bioclimatically different areas in the Iberian Peninsula: Málaga and Vigo. *Climatic Change*, 97: 215-228.
- Recio, M., Docampo, S., García-Sánchez, J., Trigo, M.M., Melgar, M., Cabezudo, B. (2010). Influence of temperature, rainfall and wind trends on grass pollination in Málaga (western Mediterranean coast). *Agr Forest Met*, 150: 931-940.
- Reglamento (UE) 1169/2011 de 25 de octubre de 2011, sobre la información alimentaria facilitada al consumidor. DO L 304/18 de 22-11-2011.
- Rezanejad, F., Majd, A., Shariatzadeh, S.M.A., Moein, M., Aminzadeh, M. & Mirzaeian, M. (2003). Effect of air pollution on soluble proteins, structure and cellular material release in pollen of *Lagerstroemia indica* L. (Lytraceae). *Acta Biol Cracov Ser Bot*, 45: 129-132.
- Rezanejad, F. (2007). The effect of air pollution on microsporogenesis, pollen development and soluble pollen proteins in *Spartium junceum* L. (Fabaceae). *Turk J Bot*, 31: 183-191.
- Rezanejad, F. (2009). Air pollution effects on structure, proteins and flavonoids in pollen grains of *Thuja orientalis* L. (Cupressaceae). *Grana*, 48: 205-213.
- Ribeiro, H., Cunha, M. & Abreu, I. (2003). Airborne pollen concentration in the region of Braga, Portugal, and its relationship with meteorological parameters. *Aerobiologia*, 19 (1): 21-27.
- Ribeiro, H., Oliveira, M., Ribeiro, N., Cruz, A., Ferreira, A., Machado, H., Reis, A. & Abreu, I. (2009). Pollen allergenic potential nature of some trees species: a multidisciplinary approach using aerobiological, immunochemical and hospital admissions data. *Environ Res*, 109(3): 328-33.

- Ribeiro, H., Duque, L., Sousa, R. & Abreu, I. (2013). Ozone effects on soluble protein content of *Acer negundo*, *Quercus robur* and *Platanus* spp. pollen. *Aerobiologia*, 29: 443–444.
- Ribeiro, H., Duque, L., Sousa, R., Cruz, A., Gomes, C., Esteves da Silva, J. & Abreu, I. (2014). Changes in the IgE-reacting protein profiles of *Acer negundo*, *Platanus x acerifolia* and *Quercus robur* pollen in response to ozone treatment. *Int J Environ Health Res*, 24(6): 515-527.
- Rivas-Martínez, S., Penas, A., Díaz, T.E. & Fernández, F. (2007). Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España. *Itinera Geobotánica*, 17.
- Rizzi-Longo, L., Pizzulin-Sauli, M. & Ganis, P. (2004). Aerobiology of Urticaceae pollen in Trieste (NE Italy). *Aerobiologia*, 20: 53-61.
- Rizzi-Longo, L., Pizzulin-Sauli, M., Stravisi, F. & Ganis, P. (2007). Airborne pollen calendar for Trieste (Italy), 1990-2004. *Grana*, 46: 98-109.
- Roberts, I.N., Harrod, G. & Dickinson, H.G. (1984). Pollen-stigma interactions in *Brassica oleracea* L. ultrastructure and physiology of the stigmatic papillar cells. *J Cell Sci*, 6: 241-253.
- Rodríguez de la Cruz, D., Suárez-González, R., Pérez-Gorjón, S. & Sánchez-Sánchez, J. (2003). Estudio aerobiológico de la ciudad de Salamanca durante el año 2000. *Polen*, 13: 299-306.
- Rodríguez de la Cruz, D. (2008). *Estudio del contenido polínico en la atmósfera de la ciudad de Salamanca y su relación con los parámetros climatológicos y los cuadros clínicos de alergia*. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca.
- Rodríguez de la Cruz, D., Sánchez-Reyes, E., Dávila-González, I., Lorente-Toledano, F. & Sánchez-Sánchez, J. (2010). Airborne pollen calendar of Salamanca, Spain, 2000-2007. *Allergol Immunopathol*, 38(6):307-312.
- Rodríguez-Rajo, F.J. (2000). *El polen como fuente de contaminación ambiental en la ciudad de Vigo*. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Jato, V. & Aira, M.J. (2003). Pollen content in the atmosphere of Lugo (NW Spain) with reference to meteorological factors (1999-2001). *Aerobiologia*, 19 (3-4): 213-225.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Iglesias, I. & Jato, V. (2004). Allergenic airborne pollen monitoring of Vigo (NW Spain) in 1995-2001. *Grana*, 43: 164-173.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Jato, V., Iglesias, I., Aira, M.J. (2007). *Estudio Aerobiológico Galicia 2006. Calidad do aire*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- Rodríguez-Rajo, F.J., Jato, V., González-Parrado, Z., Elvira-Rendueles, B., Moreno-Grau, S., Vega-Maray, A.M., Fernández-González, D., Asturias, J.A. & Suárez-Cervera, M. (2011). The combination of airborne pollen and allergen quantification to reliably assess the real pollinosis risk in different bioclimatic areas. *Aerobiología*, 27: 1-12.
- Rogerieux, F., Godfrin, D., Sénéchal, H., Motta, A.C., Marlière, M., Peltre, G. & Lacroix, G. (2007). Modifications of *Phleum pratense* grass pollen allergens following artificial exposure to gaseous air pollutants (O₃, NO₂, SO₂). *Int Arch Allergy Immunol*, 143 (2): 127-134.
- Rogers, C. (1997). An aeropalynological study of metropolitan Toronto. *Aerobiologia*, 13: 243-257.
- Rogido, G.M. (2001). Cien años de anafilaxia. *Allergol Immunol Clin*, 16: 364-368.
- Romero, C. (2007). Sistema ELISA para el análisis de proteínas de mostaza en muestras alimentarias: Validación del Método. *Alimentaria*, 385: 114-118.
- Roshchina, V.V. & Mel'nikova, E.V. (2001). Pollen chemosensitivity to ozone and peroxides. *Russian J Plant Physiol*, 48: 74-83.
- Roshchina, V.V. & Roshchina, V.D. (2003). *Ozone and plant cell*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

- Rouvinen, J., Rautiainen, J., Virtanen, T., Zeiler, T., Kauppinen, J., Taivainen, A. & Mäntyjärvi, R. (1999). Probing the Molecular Basis of Allergy. Three dimensional structure of the bovine lipocalin allergen Bos d 2. *J Biochemical Chem*, 274(4): 2337-2343.
- Rowley, J.R. & El-Ghazaly, G. (1992). Lipid in wall and cytoplasm of *Solidago* pollen. *Grana*, 31: 273-284.
- Rowley, J.R., Skvarla, J.J. & Chissoe, W.F. (1997). Exine, onciform zone and intine structure in *Ravenala* and *Phenakospermum* and early wall development in *Strelitzia* and *Phenakospermum* (Strelitziaceae) based on aborted microspores. *Rev Palaeobot Palynol*, 98: 293-301.
- Rowley, J.R. (2001). Why the exine and ectexine differ in resistance to oxidation? *Calluna* as a model system. *Grana*, 40: 159-162.
- Ruffin, J., Williams, D., Banerjee, U.C. & Pinnix, K. (1983). The effect of some environmental gaseous pollutants on pollen-wall proteins of certain airborne pollen grains. *Grana*, 22: 171-175.
- Sabariago, S. (2003). *Estudio aerobiológico del polen y las esporas de la atmósfera de Almería: Modelos de pronóstico e incidencia de sensibilización en la población atópica*. Tesis Doctoral. Universidad de Almería.
- Sabariago, S., Gutiérrez-Bustillo, M., Cervigon-Morales, P., Cuesta, P. (2008). Forecasting airborne *Platanus* pollen in the Madrid region. *Grana*, 47: 234-240.
- Sáenz, C. (1978). *Polen y esporas*. H. Blume. Madrid.
- Sáenz-Laín, C. (2004). Glosario de términos palinológicos. *Lazaroa*, 25:93-112.
- Salehi, M., Majd, A., Jonoubi, P., Karami, L., Kandar, G. & Pourpak, Z. (2014). Effect of environmental pollution on the proteins, allergenic bands, ontogeny and structure of *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh (Avicenniaceae) pollen grains. *Aerobiologia*, 30: 59-69.
- Sánchez, A.M., Bosch, M., Bots, M., Nieuwland, J., Feron, R. & Mariani, C. (2004). Pistil factors controlling pollination. *Plant Cell*, 16 (Sup.): 98-106.
- Sánchez-Mesa, J.A., Smith, M., Emberlin, J., Allitt, U., Caulton, E. & Galán, C. (2003). Characteristics of grass pollen seasons in areas of southern Spain and the United Kingdom. *Aerobiologia*, 19: 243-250.
- Sánchez-Mesa, J. A., Galán, C. & Hervás, C. (2005). The use of discriminant analysis and neural networks to forecast the severity of the Poaceae pollen season in a region with a typical Mediterranean climate. *Int J Biometeorol*, 49: 355-362.
- Sánchez Monje, R., Lombardero, M., García-Sellés, F.J., Barber, D. & Salcedo, G. (1999). Lipid-transfer proteins are relevant allergens in fruit allergy. *J Allergy Clin Immunol*, 103 (3): 514-519.
- Sánchez-Reyes, E. (2010). *Estudio aeropalínológico de la ciudad de Valladolid durante los años 2005-2006 y su relación con los cuadros clínicos de alergia*. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca.
- Sancho Ávila, J.M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez de Cos Escuin, M.C., Montero Cadalso, J., López Bartolomé, M. (2012). *Atlas de radiación solar en España*. AEMET
- Sastre, P., Dijkman, R., Camuñas, A., Ruiz, T., Jebbink, M.F., van der Hoek, L., Vela, C., Rueda P. (2011). Differentiation between human corona viruses NL63 and 229E using a novel double-antibody sandwich enzyme-linked immunosorbent assay based on specific monoclonal antibodies. *Clin Vaccine Immunol*, 18(1): 113-118.
- Ščevková, J., Dušička, J., Chernová, J. & Mičičeta, K. (2010). Annual pollen spectrum variations in the air of Bratislava (Slovakia): years 2002-2009. *Aerobiologia*, 26: 277-287.

- Schäppi, G.F., Monn, C., Wüthrich, B. & Wanner, H.U. (1996). Direct determination of allergens in ambient aerosols: Methodological aspects. *Int Arch Allergy Immunol*, 110: 364-370.
- Schäppi, G.F., Suphioglu, C., Taylor, P.E. & Knox, R.B. (1997). Concentrations of the major birch tree allergen Bet v 1 in pollen and respirable fine particles in the atmosphere. *J Allergy Clin Immunol*, 100: 656-661.
- Schäppi, G.F., Taylor, P.E., Pain, M.C., Cameron, P.A., Dent, A.W., Staff, I.A. & Suphioglu, C. (1999). Concentrations of major grass group 5 allergens in pollen grains and atmospheric particles: Implications for hay fever and allergic asthma sufferers sensitized to grass pollen allergens. *Clin Exp Allergy*, 29(5): 633-641.
- Schoene, K., Franz, J.Th. & Masuch, G. (2004). The effect of ozone on pollen development in *Lolium perenne* L. *Environ Pollut*, 131: 347-354.
- Schwela, D. (2000). Air pollution and health in urban areas. *Rev Environ Health*, 15(1-2): 13-42.
- Sekerkova, A., Polackova, M. & Striz, I. (2012). Detection of Phl p 1, Phl p 5, Phl p 7 and Phl p 12 specific IgE antibodies in the sera of children and adult patients allergic to *Phleum* pollen. *Allergol Int*, 61(2): 339-346.
- Seoane-Camba, J.A. & Suárez-Cervera, M. (1986). On the ontogeny of the oncus in the pollen grains of *Parietaria officinalis* ssp. *judaica* Urticaceae). *Can J Bot*, 64: 3155-3167.
- Sercombe, J.K., Green, B.J., Rimmer, J., Burton, P.K., Katelaris, C.H., Tovey, E.R. (2011). London Plane tree bioaerosol exposure and allergic sensitization in Sydney, Australia. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 107(6): 493-500.
- Shiraiwa, M., Selzle, K., Yang, H., Sosedova, Y., Ammann, M. & Poschl, U. (2012). Multiphase chemical kinetics of the nitration of aerosolized protein by ozone and nitrogen dioxide. *Environ Sci Technol*, 46: 6672-6680.
- Sikka, J., Joshi, O.P., Pawar, K. & Dubey, B. (2008). Air pollution induced changes in pollen characteristics of *Delonix regia* Bojer ex Hook and *Peltophorum inermi* Roxb, in polluted areas of Indore city. *Pollut Res*, 27: 467-469.
- Silva, I., Tormo, R. & Muñoz, A.F. (2000). Influence of wind direction on pollen concentration in the atmosphere. *Int J Biometeorol*, 44: 128-133.
- Silva, I., Tormo, R. & Muñoz, A.F. (2007). The importance of interactions between meteorological conditions when interpreting their effect on the dispersal of pollen from homogeneously distributed sources. *Aerobiologia*, 23, 17-26.
- Smith, M., Emberlin, J., Stach, A., Rantio-Lehtimäki, A., Caulton, E., Thibaudon, M., Sindt, C., Jäger, S., Gehrig, R., Frenguelli, G., Jato, V., Rodríguez-Rajo, F.J., Alcázar, P. & Galán (2009). Influence of the North Atlantic Oscillation on grass pollen counts in Europe. *Aerobiologia*, 25(4): 321-332.
- Solomon, W.R., Burge, H.A. & Muilenberg, M.L. (1983). Allergen carriage by atmospheric aerosol, I: Ragweed pollen determinants in smaller micronic fractions. *J Allergy Clin Immunol*, 72: 443-447.
- Solomon, W. R. (2002). Airborne pollen: A brief life. *J Allergy Clin Immunol*, 109(6): 895-900.
- Sousa, S.I.V., Martins, F.G., Pereira, M.C., Alvim-Ferraz, M.C.M., Ribeiro, H., Oliveira, M. & Abreu, I. (2008). Influence of atmospheric ozone, PM10 and meteorological factors on the concentration of airborne pollen and fungal spores. *Atmosc Environ*, 42; 7452-7464.
- Sousa, R., Duque, L., Duarte, A.J., Gomes, C.R., Ribeiro, H., Cruz, A., Esteves da Silva, J.C. & Abreu, I. (2012). In vitro exposure of *Acer negundo* pollen to atmospheric levels of SO₂ and NO₂: effects on allergenicity and germination. *Environ Sci Technol*, 46(4): 2406-2412.
- Spiekma, F.T.M., Kramps, J.A., van der Linden, A.C., Nikkels, B.H., Plomp, A., Koerten, H.K., Dijkman, J.H. (1990). Evidence of grass-pollen allergenic activity in the smaller micronic atmospheric aerosol fraction. *Clin Exp Allergy*, 20(3): 273-280.

- Spieksma, F.T.M., Kramps, J.A., Plomp, A. & Koerten, H.K. (1991). Grass-pollen carried by the smaller micronic aerosol fraction. *Grana*, 30: 98-101.
- Spieksma, F.T.M., Nikkels, B.H. & Dijkman, J. (1995). Seasonal appearance of grass pollen allergen in natural, pauci-micronic aerosol of various size fractions. Relationship with airborne grass pollen concentration. *Clin Exp Allergy*, 25(3): 234-239.
- Spieksma, F.T.M. & Nikkels, A.H. (1998). Airborne grass pollen in Leiden, The Netherlands: Annual variations and trends in quantities and season starts over 26 years. *Aerobiologia*, 14: 347-358.
- Spieksma, F.T.M., Corden, J.M., Detandt, M., Millington, M.W., Nikkels, H., Nolard, N., Schoenmakers, C.H.H., Wachter, R., Weger, L.A., Willems, R. & Emberlin, J. (2003). Quantitative trends in annual total of five common airborne pollen types (*Betula*, *Quercus*, *Poaceae*, *Urtica* and *Artemisia*) at five pollen-monitoring stations in Western Europe. *Aerobiologia*, 19: 171-184.
- Staffolani, L. & Hruska, K. (2008). Urban allergophytes of central Italy. *Aerobiologia*, 24: 77-87.
- Stanley, R.G. & Linskens, H.F. (1974). *Pollen biology, biochemistry and management*. Springer Verlag. Berlin Heidelberg. New York.
- Starr, J.R. & Mason, B.J. (1966). The capture of airborne particles by water drops and simulated snow crystals. *Q J Rev Meteorol*, 92: 490-499.
- Stathopoulou, E., Mihalakakou, G., Santamouris, M. & Bagiorgas, H.S. (2008). On the impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments. *J Earth Syst Sci*, 117: 227-236.
- Stefanic, E., Rasic, S., Merdic, S. & Colakovic, K. (2007). Annual variation of airborne pollen in the city of Vinkovci, Northeastern Croatia. *Ann Agric Environ Med*, 14: 97-101.
- Stewart, G.A. & Thompson, P.J. (1996). The biochemistry of common aeroallergens. *Clin Exp Allergy*, 26(9), 1020-1044.
- Suárez-Cervera, M., Seoane-Camba, J.A. & Lobreau-Callen, D. (1992). Pollen morphology and pollen-wall proteins (localization and enzymatic activity) in *Sesamothamnus lugardii* (Pedaliaceae). *Plant Syst Evol*, 183: 67-81.
- Suárez-Cervera, M., Márquez, J. & Seoane-Camba, J.A. (1995a). Pollen grain and ubish body development in *Platanus acerifolia*. *Rev Palaeobot Palynol*, 85: 63-84.
- Suárez-Cervera, M., Márquez, J., Martín, J., Molero, J. & Seoane-Camba, J.A. (1995b). Structure of the apertural sporoderm of pollen grains in *Euphorbia* y *Chamaesyce* (Euphorbiaceae). *Plant Syst Evol*, 197: 111-122.
- Suárez-Cervera, M., Takahashi, Y., Vega-Maray, A.M. & Seoane-Camba, J.A. (2003). Immunocytochemical localization of Cry j 1, the major allergen of *Cryptomeria japonica* (Taxodiaceae) in *Cupressus arizonica* and *Cupressus sempervirens* (Cupressaceae) pollen grains. *Sex Plant Reprod*, 16: 9-15.
- Suárez-Cervera, M. & Seoane-Camba, J.A. (2005). Biología celular del polen, origen y función de los alérgenos polínicos. In: Valero Santiago, A.L. & Cadahía García, A (Eds). *Polinosis II: Polen y alergia*. MRA Ediciones, S.L. Laboratorios Menarini S.A. Barcelona, pp. 39-50.
- Suárez-Cervera, M., Castells, T., Vega-Maray, A., Civantos, E., del Pozo, V., Fernández-González, D., Moreno-Grau, S., Moral, A., López-Iglesias, C., Lahoz, C. & Seoane-Camba, J.A. (2008a). Effects of air pollution on Cup a 3 allergen in *Cupressus arizonica* pollen grains. *Ann Allergy Asthma Immunol*, 101: 57-66.
- Suárez-Cervera, M., Vega-Maray, A.M., Castells, T., Rodríguez-Rajo, F.J., Asturias, J.A., Le Thomas, A. & Seoane-Camba, J (2008b). An approach to the knowledge of pollen and allergen diversity through lipid transfer protein localisation in taxonomically distant pollen grains. *Grana*, 47: 272-284.

- Subiza, J. (2001). Polinosis de Madrid. In: Gutiérrez, M., Sáenz, C., Aránguez, E. & Ordóñez, J.M. (eds). *Polen atmosférico de la Comunidad de Madrid*. Documentos Técnicos de Salud Pública 70, 27-35. Dirección General de Salud Pública. Consejería de Sanidad. Comunidad de Madrid.
- Subiza Garrido-Lestache, F.J., Pola, J., Feo Brito, F. & Moral de Gregorio, A.S. (2007). Pólenes de interés en alergología en nuestro medio. In: Peláez, A. & Dávila, I.J. (Eds). *Tratado de Alergología*. Madrid, pp. 425-443.
- Suck, R., Hagen, S., Cromwell, O. & Fiebig, H. (2000). The high molecular mass allergen fraction of timothy grass pollen (*Phleum pratense*) between 50-60 kDa is comprised of two major allergens: Phl p 4 and Phl p 13. *Clin Exp Allergy*, 30(10): 1395-402.
- Suphioglu, C., Singh, M.B., Taylor, P., Bellomo, R., Holmes, P., Puy, R. & Knox, B. (1992). Mechanism of grass-pollen-induced asthma. *Lancet*, 7: 572-596.
- Syrigou, E., Zanikou, S. & Papageorgiou, P.S. (2003). Grasses, olive, parietaria and cypress in Athens: Pollen sampling from 1995 to 1999. *Aerobiologia*, 19: 133-137.
- Takafuji, S., Suzuki, S., Koizumi, K., Tadokoro, K., Ohashi, H., Muranaka, M. & Miyamoto, T. (1989). Enhancing effect of suspended particulate matter on the IgE antibody production in mice. *Int Arch Allergy Immunol*, 90: 1-7.
- Takahashi, Y., Katagiri, S., Inouye, S. & Sakaguchi, M. (1990). A new counting method for airborne Japanese red cedar and grass pollen allergens by the immunoblotting technique. *Alerugi*, 39(12): 1612-1620.
- Takahashi, Y., Kawashima, S. & Aikawa, S. (1996). Pollen information of airborne Japanese cedar pollen using a simulation method. *Alerugi*, 45(4):371-377.
- Takahashi, Y., Ohashi, T., Nagoya, T., Sakaguchi, M., Yasueda, H. & Nitta, H. (2001). Possibility of real-time measurement of an airborne *Cryptomeria japonica* pollen allergen based on the principle of surface plasmon resonance. *Aerobiologia*, 17 (4): 313-318.
- Taylor, P.E., Staff, I.A., Singh, M.B. & Knox, R.B. (1994). Localization of the two major allergens in rye-grass pollen using specific monoclonal antibodies and quantitative analysis of immunogold labelling. *Histochem J*, 26(5): 392-401.
- Taylor, P.E., Flagan, R.C., Valenta, R. & Glovsky, M.M. (2002). Release of allergens as respirable aerosols: A link between grass pollen and asthma. *J Allergy Clin Immunol*, 109(1): 51-56.
- Tedeschini, E., Rodríguez-Rajo, F.J., Caramiello, R., Jato, V. & Frenguelli, G. (2006). The influence of climate changes in *Platanus* spp. pollination in Spain and Italy. *Grana*, 45: 222-229.
- Tejera, L. & Beri, A. (2003). Estudio aeropalinológico de la ciudad de Montevideo, R.O. del Uruguay. Análisis preliminar. *Polen*, 12: 107-115.
- Terán, L.M., Haselbarth-López, M.M.M & Quiroz-García, D.L. (2009). Alergia, pólenes y medio ambiente. *Gac Méd Méx*, 145(3): 215-222.
- Terras, F.R.G., Torrekens, S., Van Leuven, F., Osborn, R.W., Vanderleyden, J., Cammue, B.P. & Broekaert, W.F. (1993). A new family of basic cysteine-rich plant antifungal proteins from Brassicaceae species. *FEBS Letters*, 3: 233-240.
- Thompson, K., Grime, J.P. & Mason, G. (1972). Seed germination in response to diurnal fluctuations of temperature. *Nature*, 267 (5607):147-149.
- Tinghino, R., Twardosz, A., Barletta, B., Puggioni, E., Iacovacci, P., Butteroni, C., Afferni, C., Mari, A., Hayek, B., Di Felice, G., Focke, M., Westritschnig, K., Valentam, R. & Pini, C. (2002). Molecular, structural and immunologic relationship between different families of recombinant calcium-binding pollen allergens. *J Allergy Clin Immunol*, 109: 314-320.

- Tobías, A., Galán, I. & Banegas, J.R. (2004). Non-linear short-term effects of airborne pollen levels with allergenic capacity on asthma emergency room admissions in Madrid, Spain. *Clin Exp Allergy*, 34: 871-878.
- Tordesillas, L., Sirvent, S., Díaz-Perales, A., Villalba, M., Cuesta-Herranz, J., Rodríguez, R. & Salcedo, G. (2011). Plant lipid transfer protein allergens: no cross-reactivity between those from foods and olive and *Parietaria* pollen. *Int Arch Allergy Immunol*, 156(3): 291-296.
- Tormo, R., Muñoz, A., Silva, J. & Gallardo, F. (1996). Pollen production in anemophilous trees. *Grana*, 35: 38-46.
- Tormo, R., Gonzalo, A., Silva, I. & Muñoz, A.F. (2010). General trends in airborne pollen production and pollination periods at a Mediterranean site (Badajoz, Southwest Spain). *J Investig Allerg Clin*, 20(7): 567-574.
- Tormo, R., Silva, I., Gonzalo, A., Moreno, A., Pérez, R. & Fernández, S. (2011). Phenological records as a complement to aerobiological data. *Int J Biometeorol*, 55: 51-65.
- Toro, F.J. (1997). *Estudio aerobiológico de la Costa del Sol occidental: Málaga y Estepona (1995-97). Análisis comparativo y modelos de pronóstico*. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.
- Tortajada, B. & Mateu, I. (2002). Aerobiología en la comunidad valenciana: Estación de Burjassot (2000-2001). *Rea*, 7: 167-172.
- Townsend, A.R., Howarth, R.W., Bazzaz, F.A., Booth, M.S., Cleveland, C.C., Collinge, S.K., Dobson, A.P., Epstein, P.R., Holland, E.A., Keeney, D.R., Mallin, M.A., Rogers, C.A., Wayne, P & Wolfe, A.H. (2003). Human health effects of a changing global nitrogen cycle. *Front Ecol Environ*, 1: 240-246.
- Traidl-Hoffmann, C., Jakob, T. & Behrendt, H. (2009). Determinants of allergenicity. *J Allergy Clin Immunol*, 123(3): 558-566.
- Treshow, M. & Anderson, F.K. (1989). *Plant Stress from Air Pollution*. J. Wiley and Sons, Chichester.
- Trigo, M.M., Jato, V., Fernández-González, D. & Galán, C. (2008). *Atlas Aeropalinológico de España*. Secretariado de publicaciones Universidad de León. León.
- Valencia-Barrera, R.M., Comtois, P. & Fernández-González, D. (2001). Biogeography and bioclimatology in pollen forecasting. *Grana*, 40:223-229.
- Valenta, R., Duchêne, M., Pettenburger, K., Sillaber, C., Valent, P., Bettelheim, P., Breitenbach, M., Rumpold, H., Kraft, D. & Scheiner, O. (1991). Identification of profilin as a novel pollen allergen; IgE auto reactivity in sensitized individuals. *Science*, 253(5019): 557-560.
- Valenta, R., Duchêne, M., Ebner, C., Valent, P., Sillaber, C., Deviller, P., Ferreira, F., Tejkl, M., Edelmann, H., Kraft, D. & Scheiner, O. (1992). Profilins constitute a novel family of functional plant panallergens. *J Exp Med*, 175: 377-385.
- Valenta, R., Lidholm, J., Niederberger, V., Hayek, B., Kraft, D. & Grönlund, H. (1999). There combinant allergen based concept of component resolved diagnostics and immunotherapy (CRD and CRIT). *Clin Exp Allergy*, 29: 896-904.
- Valero, A.L., Rosella, E., Amat, P., Sanchob, J., Roigb, J., Piulats, J. & Malet, A. (1999). Hipersensibilidad a polen de *Platanus acerifolia*: detección de las fracciones alérgicas. *Alergol Inmunol Clin*, 14(4): 220-226.
- Van Campo, M. (1978). La face interne de l'exine. *Rev Palaeobot Palynol*, 26: 301-311.
- Van Ree, R., Hoffman, D.R., van Dijk, W., Brodard, V., Mahieu, K., Koeleman, C.A., Grande, M., van Leeuwen, W.A. & Aalberse, R.C. (1995). Lol p XI, a new major grass pollen allergen, is a member of a family of soybean trypsin inhibitor-related proteins. *Allergy Clin Immunol*, 95(5): 970-978.

- Van Ree, R., van Leeuwen, W.A. & Aalberse, R.C. (1998). How far can we simplify in vitro diagnostics for grass pollen allergy? A study with 17 whole pollen extracts and purified natural and recombinant major allergens. *J Allergy Clin Immunol*, 102: 184-190.
- Varela, S., Subiza, J., Subiza, J.L., Rodríguez, R., García, B., Jerez, M., Jiménez, J.A. & Panzani, R. (1997). *Platanus* pollen as an important cause of pollinosis. *J Allergy Clin Immunol*, 100(6): 748-754.
- Vega-Maray, A.M. (2002). *Localización inmunocitoquímica de proteínas alergénicas y aerobiología del polen de Urticaceae*. Tesis Doctoral. Universidad de León.
- Vega-Maray, A.M., Fernández-González, D., Valencia-Barrera, R.M., Fernández-Salegui, A.B., Santos, F. & Latasa, M. (2002a). Aerobiología en Castilla y León: Estación de León (2000-2001). *Rea*, 7: 119-124.
- Vega-Maray, A.M., Valencia-Barrera, R.M., Fernández-González, D., Fernández-Salegui, A.B., Mencia, J. & Díaz, C. (2002b). Aerobiología en Castilla y León: Estación de Ponferrada (2000-2001). *Rea*, 7: 125-130.
- Vega-Maray, A.M., Valencia-Barrera, R.M., Fernández-González, D., Fraile, R. (2003a). Urticaceae pollen concentration in the atmosphere of north western Spain. *Ann Agric Environ Med*, 10: 249-255.
- Vega-Maray, A.M., Fernández-González, D., Valencia-Barrera, R.M., Seoane-Camba, J.A. & Suárez-Cervera, M. (2003b). Relationship between changes in apertural intine and the hidrattation-activation processes in *Parietaria judaica* L. pollen grains. *Grana*, 42(4): 220-226.
- Vega-Maray, A.M., Fernández-González, D., Valencia-Barrera, R.M., Polo, F., Seoane-Camba, J. A. & Suárez-Cervera, M. (2004). Lipid transfer proteins in *Parietaria judaica* pollen grains: immunocytochemical localization and function. *Eur J Cell Biol*, 83: 493-497.
- Vega-Maray, A.M., Fernández-González, D., Valencia-Barrera, R.M. & Suárez-Cervera, M. (2006). Detection and release of allergenic proteins in *Parietaria Judaica* pollen grains. *Protoplasma*, 228: 115-120.
- Verdino, P., Westritschnig, K., Valenta, R. & Keller, W. (2002). The cross-reactive calcium-binding pollen allergen, Phl p 7, reveals a novel dimer assembly. *Embo J*, 21: 5007-5016.
- Vergaz, R. (2001). *Propiedades ópticas de los aerosoles atmosféricos. Caracterización del área del Golfo de Cádiz*. Tesis Doctoral. Universidad de Valladolid.
- Vieths, S., Scheurer, S. & Ballmer-Weber, B. (2002). Current understanding of cross-reactivity of food allergens and pollen. *Ann N Y Acad Sci*, 964: 47-68.
- Vinckier, S. & Smets, E. (2001). The potential role of orbicules as a vector of allergens. *Allergy*, 56(12): 1129-1136.
- Vinckier, S., Cadot, P. & Smets, E. (2005). The manifold characters of orbicules: structural diversity, systematic significance, and vectors for allergens. *Grana*, 44: 300-307.
- Voltolini, S., Minale, P., Troise, C., Bignardi, D., Modena, P., Arobba, D. & Negrini, A.C. (2000). Trend of herbaceous pollen diffusion and allergic sensitization in Genoa, Italy. *Aerobiologia*, 16: 245-249.
- Wang, A., Xia, Q., Xie, W., Datla, R. & Salvaraj, G. (2003). The classical ubiquitin bodies carry a sporophytically produced structural protein (RAFTIN) that is essential for pollen development. *Proc National Acad Sci U.S.A.*, 100: 14487-14492.
- Weber, M. (1992a). The formation of pollenkitt in *Apium nodiflorum* (Apiaceae). *Ann Bot*, 70: 573-577.
- Weber, M. (1992b). Nature and distribution of the exine-held material in mature pollen grains of *Apium nodiflorum* L. (Apiaceae). *Grana*, 31: 17-24.

- Weber, R.W. (2003). Meteorologic variables in aerobiology. *Immunol Allergy Clin North Am*, 23(3): 411-422.
- Weber, R.W. (2004). Cross-reactivity of pollen allergens. *Curr Allergy Asthma Rep*, 4: 401-408.
- Wheeler, M.J., Franklin-Tong, V.E. & Franklin, F.C.H. (2001). The molecular and genetic basis of pollen-pistil interactions. *New Phytol*, 151: 565-584.
- White, A., Handle, R.P., Smith, E.L. (1968). *Principles of Biochemistry*. Kogakusha Company, Tokio, pp. 369-372.
- WHO (2000). *Air Quality Guidelines for Europe*. World Health Organization Regional Publications, European Series, No. 91. Copenhagen.
- Wickman, M. (2005). When allergies complicate allergies. *Allergy*, 60(79): 14-18.
- Wissenbach, M., Holm, J., Van Neerven, R.J.J. & Ipsen, H. (1998). Grass pollen allergens: New developments. *Clin Exp Allergy*, 28: 784-787.
- Wolterbeek, B. (2002). Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. *Environ Pollut*, 120: 11-21.
- Yang, C.Y., Hsieh, H.J., Tsai, S.S., Wu, T.N. & Chiu, H.F.J. (2006). Correlation between air pollution and postneonatal mortality in a subtropical city: Taipei, Taiwan. *Toxicol Environ Health*, 69: 2033-2040.
- Ziska, L.H. & George, K. (2004). Rising carbon dioxide and invasive, noxious plants: potential threats and consequences. *World Resour Rev*, 16: 427-447.
- Ziska, L.H., Epstein, P.R. & Rogers, C.A. (2008). Climate change, aerobiology, and public health in the Northeast United States. *Mitig Adapt Strat Glob Change*, 13: 607-613.
- Zuidmeer, L. & van Ree, R. (2007). Lipid transfer protein allergy: Primary food allergy or pollen/food syndrome in some cases. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*, 7: 269-273.

*VIII. Relación de
figuras*

Introducción

Figura 1. Procesos aerobiológicos	20
Figura 2. Forma teórica de liberación y dispersión de partículas (Main <i>et al.</i> , 2000)	21
Figura 3. Fuerzas que inciden sobre una partícula en suspensión (Mandrioli <i>et al.</i> , 1998)	22
Figura 4. Dispersión por turbulencias (Edmonds, 1979). a: Remolino más grande que las partículas. b: Remolino más pequeño que las partículas	22
Figura 5. Capas de la esporodermis (Vega-Maray, 2002)	30
Figura 6. Regiones del aparato respiratorio humano en relación con el acceso de material particulado según su tamaño (EPA, 2002)	40
Figura 7. <i>Platanus hispanica</i> . Aspecto general en una avenida de Valladolid (A), corteza (B), inflorescencias (C) y hojas (D)	42
Figura 8. Granos de polen de <i>Platanus</i> al microscopio óptico (40x)	43
Figura 9. Gramíneas. Aspecto general de <i>Lolium</i> sp. (A) y espiguilla de <i>Lolium multiflorum</i> (B)	45
Figura 10. Granos de polen de Poaceae al microscopio óptico (40x)	46
Figura 11. Prevalencia y potencia alérgica de los grupos de alérgenos de gramíneas (Hrabina, 2007)	48
Figura 12. <i>Parietaria</i> . Aspecto general sobre los muros de la catedral de Valladolid (A), planta joven (B), planta adulta (C) y flores (D)	49
Figura 13. Granos de polen del tipo polínico Urticaceae al microscopio óptico (40x)	50
Figura 14. Ubicación de Valladolid en España	51
Figura 15. Ejemplares de <i>Platanus acerifolia</i> en el Paseo de Zorrilla de Valladolid	53
Figura 16. Diagrama ombrotérmico de Valladolid (periodo referencia 1971-2000) (AEMET)	54

Material y Métodos

Figura 17. Situación de los 4 cuadrantes	60
Figura 18. Ubicación de las estaciones de control de la contaminación atmosférica Puente de Regueral (●) y Arco de Ladrillo (●), la estación aerobiológica (●) y la estación meteorológica (●)	61
Figura 19. Captador tipo Hirst modelo Lanzoni® utilizado en el estudio	63
Figura 20. Material utilizado en la preparación de las muestras aerobiológicas	64
Figura 21. A: captador ciclón (Burkard®) utilizado en el estudio. B: aspecto general de la zona en la que se localiza el tubo eppendorf y el orificio de entrada del aire	67
Figura 22. Esquema de funcionamiento del captador Ciclón (Burkard®)	67
Figura 23. Lector de placas ELISA BIO-TEK Synergy HT y placa coloreada	71

Resultados

Figura 24. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas diarias durante 2009, 2010 y 2011	76
---	----

Figura 25. Distribución de los promedios mensuales de las temperaturas medias durante los tres años de estudio.....	77
Figura 26. Distribución de los promedios mensuales de la humedad relativa (%) durante los 3 años de estudio	78
Figura 27. Distribución mensual de las precipitaciones en el periodo de estudio.....	79
Figura 28. Número de días de lluvia en cada mes de 2009, 2010 y 2011.....	79
Figura 29. Distribución de los promedios mensuales de la evaporación durante los 3 años de estudio.....	80
Figura 30. Distribución de los promedios mensuales de insolación total diaria durante los 3 años de estudio	81
Figura 31. Distribucion de los promedios mensuales de la velocidad del viento durante los tres años de estudio	82
Figura 32. Frecuencia de la dirección media del viento por cuadrantes en el periodo de estudio	82
Figura 33. Frecuencias mensuales de la dirección del viento (%) durante 2009, 2010 y 2011	83
Figura 34. Distribución de los promedios mensuales de la radiación durante 2009, 2010 y 2011.....	84
Figura 35. Distribución de las concentraciones promedio mensuales de material particulado PM10	85
Figura 36. Distribución de las concentraciones promedio mensuales de material particulado PM2,5	86
Figura 37. Distribución de los promedios mensuales de NO durante el periodo de estudio.....	86
Figura 38. Distribución de los promedios mensuales de NO ₂ durante el periodo de estudio	87
Figura 39. Distribución de los promedios mensuales de CO durante el periodo de estudio	88
Figura 40. Distribución de los promedios mensuales de SO ₂ durante el periodo de estudio	88
Figura 41. Distribución de los promedios mensuales de O ₃ durante el periodo de estudio	89
Figura 42. Índices polínicos anuales de polen total del periodo de estudio.....	90
Figura 43. Niveles de polen de <i>Platanus</i> en la atmósfera de Valladolid durante 2009, 2010 y 2011 y la media del periodo de estudio.....	92
Figura 44. Índices alergénicos anuales de Pla a 1 durante el periodo de estudio.....	93
Figura 45. Concentraciones de Pla a 1 y polen de <i>Platanus</i> en Valladolid en los tres años de estudio.....	95
Figura 46. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de <i>Platanus</i> y temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed) en Valladolid durante el periodo de estudio	97
Figura 47. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de <i>Platanus</i> y temperaturas húmeda (THúmeda) y de punto de rocío (PR) en Valladolid durante el periodo de estudio	98
Figura 48. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de <i>Platanus</i> , precipitaciones (P) y humedad relativa (HR) en Valladolid durante el periodo de estudio .	100

Figura 49. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de <i>Platanus</i> , evaporación e insolación en Valladolid durante el periodo de estudio	101
Figura 50. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de <i>Platanus</i> y velocidad del viento en Valladolid durante el periodo de estudio	102
Figura 51. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1 y polen de <i>Platanus</i> , radiación solar y ozono en Valladolid durante el periodo de estudio	103
Figura 52. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1, polen de <i>Platanus</i> , PM10 y PM2,5 en Valladolid durante el periodo de estudio.....	105
Figura 53. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1, polen de <i>Platanus</i> , monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno en Valladolid durante el periodo de estudio.....	106
Figura 54. Variaciones de las concentraciones diarias de Pla a 1, polen de <i>Platanus</i> , monóxido de carbono y dióxido de azufre en Valladolid durante el periodo de estudio.....	107
Figura 55. Niveles de polen de Poaceae en la atmósfera de Valladolid durante 2009, 2010 y 2011 y la media del periodo de estudio.....	114
Figura 56. Índices alérgicos anuales de Lol p 1 y Lol p 5 durante el periodo de estudio.....	115
Figura 57. Índices polínicos de Poaceae durante los periodos de estudio de los aeroalérgenos Lol p 1 y Lol p 5.....	116
Figura 58. Concentraciones de Lol p 1 y Lol p 5 (x5 en 2009 y 2011) y polen de Poaceae en Valladolid en los tres años de estudio	118
Figura 59. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) y media (Tmed) en Valladolid durante el periodo de estudio	120
Figura 60. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y temperaturas húmeda (Thúmeda) y de punto de rocío (PR) en Valladolid durante el periodo de estudio	121
Figura 61. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y precipitaciones (P) y humedad relativa (HR) en Valladolid durante el periodo de estudio	123
Figura 62. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y evaporación e insolación en Valladolid durante el periodo de estudio.....	124
Figura 63. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011) y velocidad del viento en Valladolid durante el periodo de estudio	126
Figura 64. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 y polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011), radiación solar y ozono en Valladolid durante el periodo de estudio	127
Figura 65. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5, polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011), PM10 y PM2,5 en Valladolid durante el periodo de estudio.....	128
Figura 66. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5, polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011), monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno en Valladolid durante el periodo de estudio	129

Figura 67. Variaciones de las concentraciones diarias de Lol p 1, Lol p 5 , polen de Poaceae (x5 en 2009 y 2011), monóxido de carbono y dióxido de azufre en Valladolid durante el periodo de estudio	130
Figura 68. Niveles de polen de Urticaceae en la atmósfera de Valladolid durante el periodo de estudio.....	136
Figura 69. Índices alergénicos anuales de Par j 1-Par j 2 durante el periodo de estudio	137
Figura 70. Índices polínicos de Urticaceae durante los periodos de estudio del aeroalérgeno Par j 1-Par j 2	138
Figura 71. Concentraciones de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011) y polen de Urticaceae en la atmósfera de Valladolid durante el periodo de estudio	139
Figura 72. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae y temperaturas máxima (Tmax), media (Tmed) y mínima (Tmin) en Valladolid durante el periodo de estudio	141
Figura 73. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae y temperaturas húmeda (Thúmeda) y de punto de rocío (PR) en Valladolid durante el periodo de estudio.....	142
Figura 74. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, precipitaciones (P) y humedad relativa (HR) en Valladolid durante el periodo de estudio	143
Figura 75. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, evaporación e insolación en Valladolid durante el periodo de estudio.....	145
Figura 76. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae y velocidad del viento en Valladolid durante el periodo de estudio	146
Figura 77. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, radiación solar y ozono en Valladolid durante el periodo de estudio	147
Figura 78. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, PM10 y PM2,5 en Valladolid durante el periodo de estudio.....	148
Figura 79. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j 1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, monóxido de nitrógeno y dióxido de nitrógeno en Valladolid durante el periodo de estudio	149
Figura 80. Variaciones de las concentraciones diarias de Par j1-Par j 2 (x5 en 2009 y 2011), polen de Urticaceae, monóxido de carbono y dióxido de azufre en Valladolid durante el periodo de estudio	150

IX. Relación de tablas

Introducción

Tabla 1. Tipos de alérgenos más frecuentes.	33
Tabla 2. Clasificación de los alérgenos según plegamiento (Aalberse & Rob, 2000).	37
Tabla 3. Valores límite de los contaminantes atmosféricos (Real Decreto 102/2011).	55

Material y Métodos

Tabla 4. Técnicas analíticas de determinación de contaminantes atmosféricos.	61
Tabla 5. Tipos polínicos y categorías de Calidad del aire de la REA.	62
Tabla 6. Periodos de estudio de aeroalérgenos en la atmósfera de Valladolid.	66
Tabla 7. Valores de las concentraciones de los alérgenos en las rectas patrón (ng/ml en PBS-BSA-T).	69

Resultados

Tabla 8. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura máxima (°C).	75
Tabla 9. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura mínima (°C).	75
Tabla 10. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura media (°C).	77
Tabla 11. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura húmeda (°C).	77
Tabla 12. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la temperatura de punto de rocío (°C).	78
Tabla 13. Valores máximos (Máx) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la velocidad del viento (km/hora).	81
Tabla 14. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de la radiación global diaria (MJ/m ²).	84
Tabla 15. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de material particulado PM10 (µg/m ³).	84
Tabla 16. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de material particulado PM2,5 (µg/m ³).	85
Tabla 17. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de monóxido de nitrógeno (µg/m ³).	86
Tabla 18. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de dióxido de nitrógeno (µg/m ³).	87
Tabla 19. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de monóxido de carbono (mg/m ³).	87
Tabla 20. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de dióxido de azufre (µg/m ³).	88

Tabla 21. Valores máximos (Máx) y mínimos (Mín) anuales y días en los que se registraron, media y desviación estándar (S) de ozono ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).	89
Tabla 22. Tipos polínicos más abundantes en la atmósfera de Valladolid durante los tres años de estudio.	90
Tabla 23. Datos de polen de <i>Platanus</i> en Valladolid durante los tres años de estudio.	91
Tabla 24. Número de días en los que se registran las concentraciones de polen de <i>Platanus</i> en cada categoría del grupo 4 de la REA.	93
Tabla 25. Datos de Pla a 1 durante el periodo de estudio de aeroalérgenos en Valladolid.	94
Tabla 26. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de <i>Platanus</i> y el alérgeno Pla a 1, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de <i>Platanus</i> y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05). ..	96
Tabla 27. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de <i>Platanus</i> y los parámetros meteorológicos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	109
Tabla 28. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de <i>Platanus</i> y los contaminantes atmosféricos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	110
Tabla 29. Coeficientes de correlación de Spearman entre Pla a 1 y los parámetros meteorológicos, considerando el periodo de estudio de Pla a 1 y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	111
Tabla 30. Coeficientes de correlación de Spearman entre Pla a 1 y los contaminantes atmosféricos, considerando el periodo de estudio de Pla a 1 y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	112
Tabla 31. Datos de polen de Poaceae en Valladolid durante los tres años de estudio.	113
Tabla 32. Número de días con las concentraciones de polen de Poaceae en cada categoría del grupo 2 de la REA.	113
Tabla 33. Datos de Lol p 1 y Lol p 5 durante el periodo de estudio de aeroalérgenos en Valladolid.	115
Tabla 34. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de Poaceae y los alérgenos Lol p 1 y Lol p 5, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01).	117
Tabla 35. Coeficientes de correlación de Spearman entre el alérgeno Lol p 1 y el alérgeno Lol p 5, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alérgico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01).	119
Tabla 36. Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Poaceae y los parámetros meteorológicos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	131
Tabla 37 Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Poaceae y los contaminantes atmosféricos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	132

Tabla 38. Coeficientes de correlación de Spearman entre Lol p 1 y Lol p 5 y los parámetros meteorológicos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	133
Tabla 39. Coeficientes de correlación de Spearman entre Lol p 1 y Lol p 5 y los contaminantes atmosféricos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Poaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	134
Tabla 40. Datos de polen de Urticaceae en Valladolid durante los tres años de estudio.	135
Tabla 41. Número de días con las concentraciones de polen de Urticaceae en cada categoría del grupo 1 de la REA.	137
Tabla 42. Datos de Par j 1-Par j 2 durante el periodo de estudio de aeroalérgenos en Valladolid.	138
Tabla 43. Coeficientes de correlación de Spearman entre el polen de Urticaceae y el alérgeno Par j 1-Par j 2 considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Urticaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (*= nivel de significación 0,05).	140
Tabla 44. Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Urticaceae y los parámetros meteorológicos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	151
Tabla 45. Coeficientes de correlación de Spearman del polen de Urticaceae y los contaminantes atmosféricos, considerando el año completo y el periodo polínico principal (PPP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	152
Tabla 46. Coeficientes de correlación de Spearman entre Par j 1-Par j 2 y los parámetros meteorológicos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Urticaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (**= nivel de significación 0,01; *= nivel de significación 0,05).	153
Tabla 47. Coeficientes de correlación de Spearman entre Par j 1-Par j 2 y los contaminantes atmosféricos, considerando el periodo de estudio de aeroalérgenos de Urticaceae y el periodo alergénico principal (PAP). (*= nivel de significación 0,05).	154

