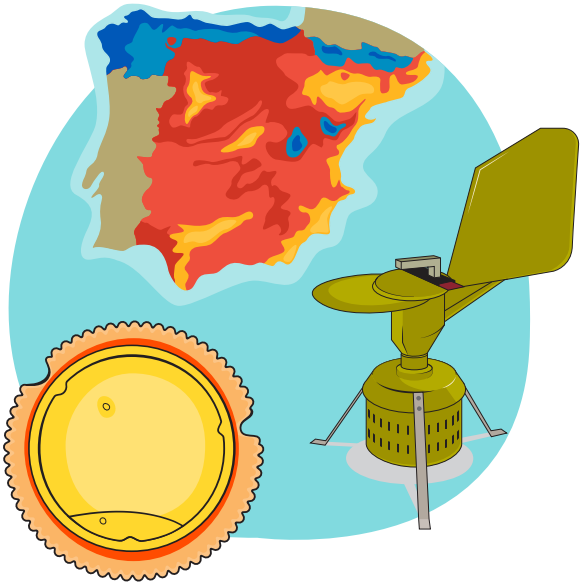
7

LETI's SCIENTIFIC SERVICES

COLECCIÓN
LETITRAIN

Aerobiología, polinosis y cambio climático



LETI

www.leti.com/zonaprofesional

COLECCIÓN

LETITRAIN

Aerobiología, polinosis y cambio climático

Luis Ángel Navarro Seisdedos

Alergólogo

© 2017, Laboratorios Leti
Realización editorial, Traducciones Lexic S.L.
Passeig del Ferrocarril, 339, 2º 4ª - 08860 Castelldefels (Barcelona), España.

Agradecimientos:

A Carmina, Luis y Jorge.
A mis padres.
A Bego y Javi.

Aerobiología,
polinosis y cambio climático

ÍNDICE

Índice

Introducción 3

1. Aerobiología 11
1.1. Introducción histórica 11
1.2. Versión española 13
1.3. Aplicaciones de la aerobiología y la aeropalinología 14
1.4. Resumen 18

2. El polen 21
2.1. Introducción 21
2.2. Características del grano de polen 24
2.2.1. La pared del grano de polen 25
2.2.2. Aberturas 28
2.2.3. Polaridad 32
2.2.4. La simetría 33
2.2.5. Unidades del polen 34

2.2.6. Forma del grano de polen 34
2.2.7. Tamaño del grano de polen 38
2.3. Vías de polinización 39
2.4. El proceso aerobiológicos 40
2.4.1. Producción 41
2.4.2. Emisión 42
2.4.3. Dispersión y transporte 43
2.4.4. Deposición 49
2.4.5. Impacto 51
2.4.6. Resuspensión 51
2.5. Metodología de registro 52
2.5.1. Preparación de las muestras 55
2.5.2. Análisis microscópico de las muestras 57
2.5.3. Tratamiento de los datos 58
2.6. Difusión e interpretación de la información 59
2.7. Resumen 64

3. Polinosis 67
3.1. Resumen 70

4. Pólenes de interés alergológico en España 73
4.1. Gramíneas (‘Poaceae’) 74
4.1.1. Aerobiología de las gramíneas 75
4.1.2. Alérgenos del polen de las gramíneas 77

4.2. Oleáceas 79
4.2.1. Aerobiología del polen del olivo 80
4.2.2. Alérgenos del polen de olivo 84
4.3. Urticáceas 86
4.3.1. Aerobiología de las urticáceas 87
4.3.2. Alérgenos del polen de las urticáceas 88
4.4. Amarantáceas 89
4.4.1. Aerobiología de las amarantáceas 91
4.4.2. Alérgenos del polen de las amarantáceas 93
4.5. Cupresáceas ('Cupressaceae/Taxaceae') 93
4.5.1. Aerobiología de las cupresáceas 94
4.5.2. Alérgenos del polen de las cupresáceas 97
4.6. 'Platanus' ('Platanaeae') 98
4.6.1. Aerobiología de 'Platanus' 100
4.6.2. Alérgenos del polen de 'Platanus' 103

5. Pólenes de menor importancia alergénica en España 107
5.1. 'Betulaceae' 107
5.1.1. Aerobiología de 'Betula' 108
5.2. 'Astereaceae' 113
5.3. Alérgenos del polen de artemisia 115
5.4. 'Plantaginaceae' 117

5.5. 'Euphorbiaceae' 119
5.6. 'Poligonaceae' 121
5.7. 'Pinaceae' 124
5.7.1. Aerobiología de 'pinaceae' 126
5.8. 'Palmaceae' 127
5.9. 'Vitaceae' 128
5.10. 'Fagaceae' 130
5.11. Resumen 135

6. Polinosis profesional y por contacto íntimo 139
6.1. Azafrán o 'Crocus sativus' 139
6.2. Girasol o 'Helianthus annuus' 140
6.3. Tilo 141
6.4. 'Diplotaxis erucoides' 142

7. Hongos alergénicos 147
7.1. 'Cladosporium' 149
7.2. 'Alternaria' 150
7.3. 'Aspergillus' 151
7.4. 'Penicillium' 152
7.5. 'Basidiomicota' 153
7.6. 'Fusarium' 153
7.7. 'Mucor micedo' y 'Rhizopus stolonifer' 154
7.8. 'Stemphylium' 154

7.9. Aerobiología de los hongos 154
7.10. Resumen..... 155

8. Influencia del clima sobre la polinización de las plantas alergénicas de España 159
8.1. El clima de la península Ibérica 159
8.2. Zonas climáticas..... 160
8.3. Perfiles pluviométricos y polinización 163
8.4. Resumen..... 165

9. Influencia del cambio climático sobre las plantas con capacidad alergénica 169
9.1. Cambio climático y biodiversidad..... 169
9.2. Cambio climático en España 174
9.3. Cambio climático y polinización 178
9.3.1. Modificaciones en la polinización causadas por el cambio climático..... 178
9.3.2. Polinización y cambio climático en España... 181
9.3.3. Fenómenos extremos, cambio climático y síntomas alérgicos 187
9.4. Resumen 188

10. Contaminación y polinosis 193
10.1. Contaminación y clima 193
10.2. Contaminación y vía respiratoria..... 194

10.3. Contaminación y polinosis 198
10.4. Resumen 200

11. Medidas para frenar el proceso del cambio climático 205
11.1. Antecedentes 205
11.2. Costes del cambio climático 207
11.3. Medidas implementadas para limitar la producción de contaminantes 207
11.3.1. Red de estaciones de vigilancia de la calidad del aire 209
11.3.2. Estrategias para mejorar la calidad del aire 212
11.4. Normas de calidad del aire respecto al polen 215
11.4.1. Propuestas 216
11.5. Resumen 218

12. Bibliografía 223

13. Autor 239

14. Notas 243

Aerobiología,
polinosis y cambio climático

INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades alérgicas en España afectan al 33% de la población, por lo que sobre una población de 48 millones de españoles, estaríamos hablando de una patología que afecta a 16 millones. Entre los alérgicos, aproximadamente, la mitad van a serlo a los pólenes de plantas, por tanto, unos 8 millones de españoles.

Desde que John Bostock responsabilizó en 1819 a los pólenes como desencadenantes de la mal llamada "fiebre del heno" o rinitis polínica, han trascurrido dos siglos, y ha pasado de ser una enfermedad elitista a convertirse en el trastorno inmunológico más frecuente del ser humano, la epidemia del siglo XXI. En todo este tiempo, la aerobiología ha evolucionado desde la recogida de pólenes con los primeros captadores volumétricos, hasta los modernos ciclones captadores de alérgenos de pólenes, que permitirán un diagnóstico y tratamiento más preciso de los polínicos.

El autor del libro describe de forma pormenorizada las características generales de los granos de pólenes que permiten su identificación con el microscopio óptico, así como el proceso desde que se libera de la antera hasta su posterior contacto con el receptor, junto con la metodología para la recogida de los pólenes y la posterior difusión de la información. Continúa describiendo los pólenes más alergénicos en España, recalcando sus características morfológicas, comportamiento aerobiológico y sus principales alérgenos. Otro material alergénico también recogido en los captadores de pólenes son las esporas de hongos, de las que también se comenta su aerobiología.

El cambio climático es una realidad incuestionable y constituye en estos momentos uno de los ejes centrales en torno al cual gira la preocupación medioambiental, tanto en el ámbito científico como en el socioeconómico.

El calentamiento global que ha experimentado la superficie terrestre a lo largo del último siglo, más intenso en las últimas décadas, es una evidencia, Y se debe, principalmente, a la acumulación en la atmósfera de gases con efecto invernadero, emitidos por la quema de combustibles fósiles y, en menor medida, a la deforestación de los bosques y a los cambios del uso del terreno.

Entre los gases con efecto invernadero destaca el CO_2, que interviene en la fotosíntesis de las plantas y su incremen-

to favorece el desarrollo de estasa y, como consecuencia, aumenta la producción de pólenes. La repoblación forestal contribuiría a la disminución de CO_2, pero aumentaría, por otro lado, las concentraciones de pólenes.

Sin embargo, lo más preocupante es que todo apunta a que el ritmo de calentamiento va a ir acelerándose a lo largo de este siglo, en la medida que lo hagan las emisiones antropogénicas. Esto provocará, sin duda, una alteración significativa de los actuales regímenes climáticos en la mayor parte de las regiones, con notables repercusiones medioambientales, económicas, sociales y sanitarias.

Es previsible un incremento de la contaminación atmosférica, especialmente la fotoquímica procedente de las reacciones de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, estimuladas por la luz solar intensa y el incremento de la temperatura.

Las partículas eliminadas en la combustión de motores diésel y calefacciones en las ciudades crean un ambiente hostil a las plantas, y estas para defenderse producen proteínas de estrés, que hacen más agresivos los pólenes de zonas contaminadas de las ciudades que los de zonas rurales no contaminadas, por lo que ocasionan mayor alergenicidad.

Los altos niveles de contaminación de las ciudades, además, favorecen el fenómeno de la inversión térmica, que impide

que los pólenes abandonen la atmósfera sobre las ciudades, con lo que aumenta la exposición a ellos.

Debido a que las tormentas favorecen la rotura de los pólenes y la posterior liberación de partículas submicrónicas que contienen alérgenos, la mayor tendencia debida al cambio climático a la formación de fenómenos meteorológicos extremos como las tormentas facilitaría la aparición de epidemias de asma alérgica.

La disposición geográfica de la península Ibérica condiciona que España sea vulnerable al cambio climático, elevándose la temperatura y disminuyendo las precipitaciones. La reducción en las disponibilidades hídricas, debida a la reducción de las precipitaciones, ocasionará una expansión de plantas invasoras de terrenos salinos, como las amarantáceas, y desplazará a otras especies.

Resumiendo, el aumento de las temperaturas y de los niveles de CO_2 trae como resultado un adelanto en la floración de los pólenes, alargando el periodo de polinización, lo que ocasiona un incremento de la exposición a los pólenes. A esto se suma el aumento en la producción de pólenes por los gases con efecto invernadero y el aumento de la alergenicidad en los pólenes por la contaminación, junto con la proliferación de especies invasoras alergénicas.

El cambio climático es un problema medioambiental muy complejo y con consecuencias en múltiples ámbitos de la

existencia en nuestro planeta, y la única solución es la reducción de las emisiones de los gases con efecto invernadero. Sin embargo, los programas de control y prevención de la contaminación aplicados por los países contaminantes han mejorado la calidad del aire en muchas ciudades.

Los Ayuntamientos deberían evitar la plantación en las ciudades de especies que han demostrado ser muy alergénicas, como ocurre con los plátanos de sombra, cipreses, olivos y abedules. Al mismo tiempo, se deben realizar podas controladas en el invierno, previas a la floración sobre árboles ya plantados, como los plátanos. Así se disminuiría la producción de flores y, como consecuencia, los niveles de polen.

No obstante, al ser el polen un contaminante biológico de origen natural, no puede ser regulado como otros contaminantes atmosféricos, aunque sí deberían establecerse estrategias como las propuestas por el autor del libro: vigilancia de aeroalérgenos potenciando las redes aerobiológicas, desarrollo de sistemas de alerta y gestión del arbolado urbano.

Ángel Moral de Gregorio

Presidente del Comité de Aerobiología de la Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica (SEIAC)

1

AEROBIOLOGÍA

1. AEROBIOLOGÍA

1.1. Introducción histórica

Hipócrates (s. IV a. de C.) es el padre de la medicina y, en cierto modo, también de la aerobiología, ya que fue el primer autor que describió cómo el hombre era atacado por fiebres epidémicas cuando inhalaba aire infectado de «contaminantes hostiles a la raza humana». Las primeras descripciones morfológicas del polen corresponden al médico y botánico inglés N. Grew (1628-1711), que atribuyó a ciertas flores algún tipo de relación patológica sobre el organismo humano, descrita como «catarro de las rosas» por su contemporáneo Van Helmont (1577-1644). Sin embargo, fue el médico inglés Charles Blackley[1] quien, en 1873, responsabilizó al polen que se encuentra en el aire de ser el desencadenante de los síntomas del *catarrus aestivus* que ya había descrito (y padecía) un colega suyo, John Bostock, en 1819.

Spallanzani y el propio Pasteur, en el primer tercio del siglo XX, sientan las bases de una nueva ciencia acuñada por Meier como aerobiología y que incluía aquellos estudios sobre esporas de hongos, granos de polen y bacterias contenidos en la atmósfera. Meier estableció de esta manera una serie de principios basados en métodos de muestreo volumétrico, estudio de la heterogeneidad de las esporas en el aire y la descripción de la ruta aerobiológica del polen.

El primer aerobiólogo profesional fue el bacteriólogo francés Pierre Miquel (1850-1922), fundador de la micrografía atmosférica[2]. Mediante un novedoso colector volumétrico capaz de succionar un volumen de 20 litros de aire por hora, efectuó el primer muestreo aerobiológico con el que pudo comprobar hasta qué punto podía variar la cantidad de microbios presentes en el aire en un determinado lugar a diferentes horas, estaciones o altitudes, conforme a una serie de parámetros dependientes del clima. Este hecho podía influir en gran medida en ciertas enfermedades epidémicas[3].

Jim Hirst es considerado el padre de la aerobiología moderna por ser el inventor en la década de 1950 de un captador automático volumétrico que lleva su nombre[4], diseñado para el estudio del efecto del mildiu sobre la patata (*Phytophthora infestans*). Este dispositivo posteriormente ha sido utilizado en la mayoría de estudios aerobiológicos y redes internacionales y ha contribuido notablemente a su desarrollo e investigación.

En 1974, durante la realización del primer Congreso Internacional de Ecología, se constituyó la Asociación Internacional de Aerobiología (International Association for Aerobiology, IAA), organismo orientado al fomento e investigación de la aerobiología que celebra cada cuatro años una reunión coincidente con el Congreso Internacional.

En 1986 se creó la Red Europea de Aeroalérgenos (European Aeroallergen Network, EAN), un banco central de datos y, posteriormente, se estableció la European Aeroallergen Network Server (EANS), responsable de la difusión de la información generada en Internet y de los medios de comunicación social.

1.2. Versión española

El pionero de la aerobiología en España fue el Dr. Carlos Jiménez Díaz. En la década de 1930 sus líneas de investigación sobre el papel alergénico de las esporas de los hongos atmosféricos en Madrid y Santander dieron lugar a diversas iniciativas por parte de varios contemporáneos suyos, que cristalizaron en la década de 1970 en la constitución del Comité de Aerobiología por parte de la Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica (SEAIC). Este organismo cuenta en la actualidad con una extensa red de más de 50 captadores ubicados por todo el territorio estatal que realiza de forma ininterrumpida la labor de recuento e identifica-

ción de pólenes y cuya información se ofrece a todo el mundo en la web https://www.polenes.com.

El desarrollo y difusión de la aerobiología también ha sido un tema de interés para los biólogos, que han contribuido notablemente a su desarrollo moderno, sobre todo en los últimos 25 años con la creación de una importante red también estatal: la Red Española de Aerobiología (REA), cuyos captadores ofrecen datos que se vuelcan en la web https://www.uco.es/rea/pol_abierto.html.

1.3. Aplicaciones de la aerobiología y la aeropalinología

El interés fundamental de los alergólogos por la aerobiología se basa en el estudio de una serie de partículas atmosféricas de origen biológico con potenciales efectos perjudiciales para la salud humana **(fig. 1)**. En esta revisión se abordará también su relación con otras disciplinas como la climatología y la ecología, responsables del estudio del impacto del cambio climático. Y es que los captadores volumétricos empleados en los estudios aerobiológicos, además de polen y esporas, pueden registrar partículas sólidas como el polvo, la arena, las cenizas y restos de hidrocarburos, derivados en muchas ocasiones de actividades industriales que contribuyen de forma importante a la contaminación atmosférica. De este modo, se puede cuantificar su presencia y, por tanto, controlar posibles situa-

ciones de riesgo. Además, al proporcionar registros atmosféricos continuos de datos (inicio, intensidad y duración de los periodos de polinización) de largas series temporales, permite identificar signos relacionados con el impacto del clima sobre las plantas y, por ello, posibles cambios climáticos.

La palinología es una disciplina de la botánica dedicada al estudio del polen y las esporas. Esta se centra fundamentalmente en el análisis de su morfología externa, que presenta patrones estructurales diferentes a tenor de las variaciones en la exina, que es la pared externa de los granos de polen. En el estudio paleontológico alcanza su máxima versatilidad, pues el polen tiene gran resistencia a la putrefacción debido a las características químicas de la exina. Esta área de investigación se denomina *paleopalinología*.

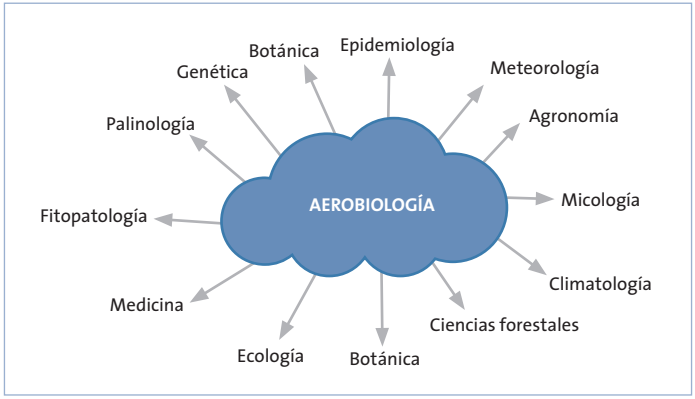


Figura 1. Aplicaciones de la aerobiología.

La paleopalinología se basa en la capacidad del polen y las esporas (también denominados palinomorfos) para ser fosilizados.

La palinología es la disciplina más importante, al menos en su vertiente que estudia el polen y las esporas, aunque también se encarga de los dinoflagelados y cualquier palinomorfo actual o fósil, menos importantes para un alergólogo. Los análisis palinológicos son también útiles en arqueología, climatología, estratigrafía y geología, lo que ha supuesto la aparición de diversas disciplinas especializadas como:

a) Geopalinología, que se dedica al estudio de los granos de polen y esporas contenidos en los sedimentos, tanto actuales como fósiles.

b) Melisopalinología o estudio de los granos de polen encontrados en muestras de miel.

c) Copropalinología o análisis de los granos de polen y esporas encontrados en los excrementos de animales.

d) Palinotaxonomía o estudio de la taxonomía vegetal por las características polínicas y según las cuales cada grupo estudiado puede ser diferenciado con una denominación propia.

La aeropalinología como ciencia dedicada al estudio de los granos de pólenes y esporas en el aire ha experimentado una rápida expansión en los últimos años por el creciente interés sanitario que ha generado derivado del notable in-

cremento de población alérgica a estas partículas, y la consiguiente demanda de información que ello genera. En manos de los alergólogos, los estudios aerobiológicos se convierten en una poderosa herramienta que permite correlacionar los síntomas del paciente con la exposición ambiental polínica y así establecer la relevancia clínica de la sensibilización del paciente para un posterior tratamiento etiológico específico mediante inmunoterapia.

El conocimiento del contenido polínico atmosférico nos va a permitir establecer una serie de estrategias orientadas a:

1. Conocer los tipos de pólenes alergénicos a los que la población está expuesta.
2. Una vez determinado el polen al que está sensibilizado cada paciente, conocer el periodo en el que va a sufrir los síntomas.
3. Explicar la prevalencia de las sensibilizaciones.
4. Determinar cuándo se deben comenzar y finalizar los tratamientos profilácticos.
5. Explicar las diferencias en la gravedad de los síntomas que se producen cada año.
6. Explicar la diferente gravedad de la polinosis en distintas áreas geográficas.
7. Realizar estudios para comprobar la eficacia de vacunas y fármacos.

8. Administración de la vacuna de forma adecuada.
9. Diferenciar las sensibilizaciones clínicas de las subclínicas.
10. Planificar destinos vacacionales.
11. Predecir la intensidad de la polinización.

1.4. Resumen

La aerobiología moderna es una ciencia de carácter multidisciplinar con una vocación muy importante en salud pública en la que los alergólogos tienen un papel muy destacado.

Actualmente, España dispone de una importante red de captadores de polen distribuida por todo el territorio (polenes.com), con regiones que han desarrollado sus propias redes, como avaic.es, que ofrecen información contrastada de manera gratuita a pacientes, profesionales y población general.

2

EL POLEN

2. EL POLEN

2.1. Introducción

La reproducción de las plantas fanerógamas requiere del desarrollo coordinado en las flores de los sacos polínicos y/o las anteras (órganos masculinos) y los primordios seminales y/o los pistilos (órganos femeninos), así como de las sucesivas interacciones que se producen entre ellos **(fig. 2)**.

El grano de polen contiene los gametos masculinos y, básicamente, está formado por una célula vegetativa cuyo citoplasma engloba las células espermáticas, rodeadas por una compleja pared externa. Se desarrollan en el interior de microsporangios denominados sacos polínicos **(fig. 3)**, situados en las anteras de los estambres (angiospermas), donde la célula madre del polen sufre la meiosis.

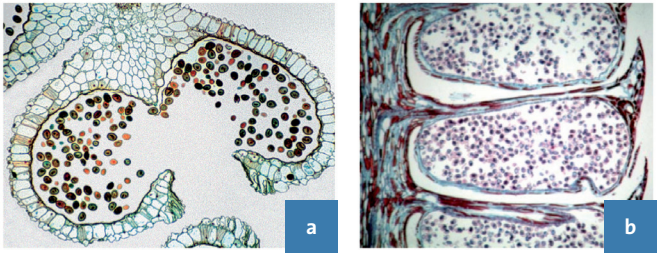


Figura 2. Sacos polínicos; *a)* angiosperma, *b)* gimnosperma.
Fuente: www.biologia.edu.ar

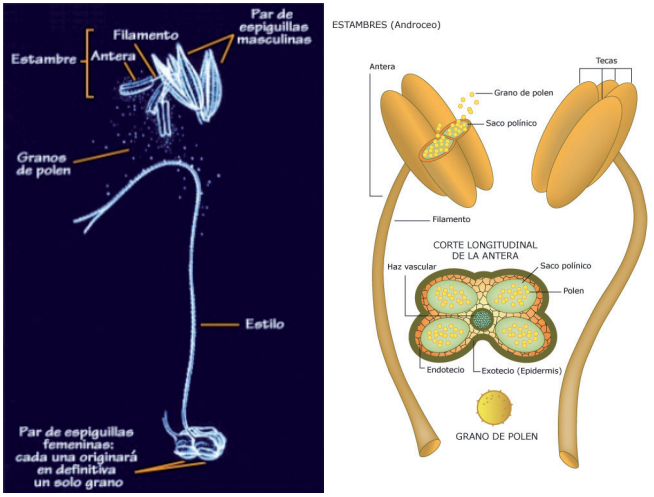


Figura 3. Estigmas, anteras y sacos polínicos.
Fuente: www.ugr.es

Como consecuencia, aparecen las meiosporas, que, una vez maduras, constituirán las monadas, díadas, tétradas, políadas, másculas o polinias **(fig. 4)** y que serán liberadas de las anteras para ser transportadas hasta los micropilos (gimnospermas) o estigmas (angiospermas) para que tenga lugar la fecundación (fig. 3).

Una sola planta puede producir miles y miles de granos de polen, cuyo aspecto cuando se ve amontonado (como puede ser en el interior de las flores u hojas circundantes), es el de un polvillo amarillo. Su tamaño es pequeño y variable, entre 20 y 40 µm; por ello, cuando se encuentra disperso en el aire es invisible al ojo humano.

Una vez que el polen ha sido liberado, los granos se pueden activar al absorber agua a través de las aberturas o de las perforaciones e, inmediatamente, las proteínas hidrosolubles salen al exterior del mismo. Esta activación está rela-

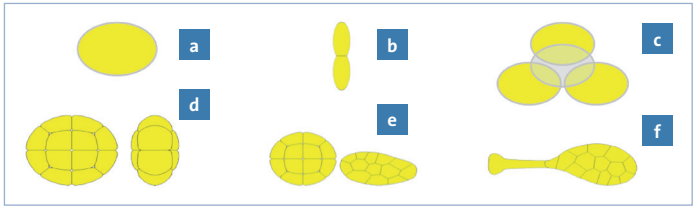


Figura 4. Tipos de agrupaciones de los granos de polen: *a)* mónada, *b)* diada, *c)* tétrada, *d)* políada, *e)* máscula y *f)* polinia.
Fuente: www.biologia.edu.ar

cionada con la reacción de reconocimiento polen-estigma, pero también puede ser provocada por la atmósfera, el contacto con mucosas y por el reconocimiento con estigma de otra especie. Mediante el proceso de la activación, entran en contacto los factores de reconocimiento del polen y del estigma, determinando si un grano de polen germinará o no. Si germina, el crecimiento se puede detener si no se reconoce su compatibilidad, tal como ocurre en las mucosas humanas.

La diversidad en cuanto a forma y estructura sugiere que los diferentes tipos polínicos han surgido a partir de un extraordinario proceso de adaptación a diferentes factores que incluyen: el medio ambiente, las interacciones polen-polen y polen-estigma intraespecíficas e interespecíficas y el medio de dispersión por el viento, el agua o la acción de los animales.

2.2. Características del grano de polen

El polen maduro presenta una morfología bien definida que, por lo general, permite la identificación de la planta de la cual procede. Sus caracteres son de gran importancia en cualesquiera de las aplicaciones que tiene el estudio del grano de polen, entre ellos, generalmente se definen los siguientes: pared, aberturas, simetría, polaridad, agregados polínicos, forma y tamaño.

2.2.1. La pared del grano de polen

Un grano de polen está constituido por dos partes: "la célula viva" y la "esporodermis" o pared externa, cuya función primaria es la protección del protoplasma celular, mediante la impermeabilización y la resistencia a la degradación físico-química y biológica. La naturaleza de la misma proporciona multitud de caracteres importantes en filogenia y para su estudio hay que tener en cuenta su "estratificación" y su "ornamentación":

a) Estratificación. La pared está formada por varios estratos que difieren por sus caracteres químicos, morfológicos y ontogénicos. Consta de dos capas muy diferenciadas: una interna que está en contacto con el protoplasma celular denominada **intina**, y otra externa que rodea todo el conjunto, llamada **exina**.

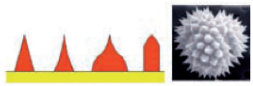
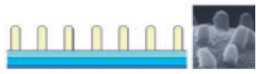
La **exina** es la capa más externa y más resistente de la pared del grano de polen. Su resistencia a la destrucción es una de las mayores del reino vegetal, ya que soporta la acción de los ácidos y bases concentradas, así como el calentamiento hasta 300 ºC. Solo se ve alterada por algunos oxidantes y por ciertos microorganismos. Debido a ello, se han encontrado exinas prácticamente intactas en predecesores de los granos de polen actuales, como esporas de helechos y prepólenes, procedentes de depósitos del Paleozoico. Sin embargo presenta una cierta elasticidad y plasticidad, que permite al

grano adaptarse a las condiciones ambientales. En la exina hay también un componente polisacárido y otro lipídico, así como proteínas y glucoproteínas.

La **intina** es la capa más interna de la pared del grano de polen. Consta de celulosa, pectinas y glucoproteínas. Puede considerarse equivalente a la pared de celulosa típica del resto de células vegetales. Forma una capa continua alrededor de todo el grano de polen. La mayor parte de los granos de polen, en el momento de la dehiscencia de la antera, están recubiertos por una sustancia más o menos pegajosa llamada *pollenkitt* o manto polínico, que es secretada por las células del tapete. Está compuesto fundamentalmente por lípidos, carotenos, polisacáridos y glucoproteínas en proporciones variables. El significado biológico del manto polínico no es muy claro; parece que actúa dando a los granos de polen una mayor protección frente a los factores medioambientales, previniendo la desecación o ante el ataque de hongos u otros parásitos. Por otro lado, la presencia de proteínas en el manto polínico le otorga poder alergénico y, además, puede actuar de forma mecánica facilitando la salida de proteínas alergénicas difusibles desde el interior.

b) La ornamentación o relieve de los granos de polen suele estar formada por los elementos esculturales que se disponen sobre la superficie del mismo. En general, son una respuesta adaptativa a los procesos de dispersión y polinización, adoptan diversas formas y no suelen sobrepasan los 5 µm de altura **(tabla 1)**.

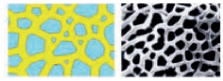
Tabla 1. Tipos de relieve del grano de polen

Superficie	Aspecto	Esquema-imagen
Psilada	Prácticamente lisa	
Foveolada	Lisa con lagunas diminutas, redondeadas, diámetro aproximadamente de 1 µm	
Fosulada	Lisa con hendiduras diminutas	
Equinada	Con espinas o aguijones, de >3 µm. Si son <3 µm se denomina equinulada	
Baculada	Con elementos esculturales en forma de bastón	
Verrugosa	Con elementos esculturales no puntiagudos, de altura mayor a 1 µm	
Gemada	Con elementos esculturales de anchura igual o mayor que la altura y con la parte basal constreñida	

(Continúa)

(Continuación)

Tabla 1. Tipos de relieve del grano de polen

Superficie	Aspecto	Esquema-imagen
Reticulada	Semitectada con muros y lúmenes ordenados conforme a las mallas de una red	
Pilada	Superficie con elementos esculturales en forma de cabeza más o menos gruesa y un cuello que la sostiene	

Fuente: http://www.saludcastillayleon.es/sanidad/cm/ciudadanos/images?locale=es_ES&textOnly=false&idMmedia=113491

2.2.2. Aberturas

Son áreas especialmente definidas y más delgadas de la exina, donde la intina puede ser más gruesa. Permiten la salida del tubo polínico en la germinación, facilitan el intercambio iónico del interior del grano con el exterior y la acomodación del volumen de los granos a los cambios de humedad, fenómeno conocido como "harmomegatia". La descripción de las aberturas del polen se basa principalmente en los siguientes aspectos: número, forma, posición y estructura.

a) Número de aberturas. Es muy variable y puede haber pólenes inaperturados, mono-, di-, tri- o poli-, cuando pasan de cuatro aberturas.

b) Forma de las aberturas. Los granos de polen poseen básicamente tres tipos diferentes de aberturas simples: *1)* alargadas (forma de surco) y que dan origen a un polen *colpado*; *2)* redondas (forma de poro) y que dan origen a un polen *porado*, y *3)* en bandas o anillos completos circundando uno de los polos del grano (sulcos) y que dan origen a un polen "sulcado". Son también muy frecuentes las aberturas compuestas, generalmente constituidas por colpos, como ectoaberturas y poros, como endoaberturas. El grano de polen se denomina **colporado**, si coinciden colpo y poro; **colpado**, si coinciden dos colpos, y **porado** si las dos aberturas son del tipo poro **(fig. 5).**

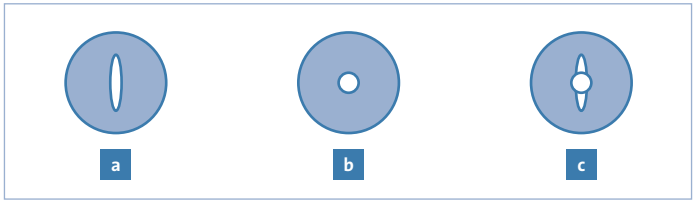


Figura 5. Principales sistemas de abertura: *a)* polen colpado, *b)* polen porado y *c)* polen colporado.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

También se indica en la nomenclatura de las aberturas el número y la disposición, pues son caracteres importantes **(fig. 6)**; así, se establecen los siguientes prefijos que se anteponen a los mencionados colpado, porado y colporado[6]:

- **Mono-**: con una sola abertura.
- **Di-**: con dos aberturas.
- **Tri-**: con tres aperturas.
- **Tetra-**: con cuatro aberturas.
- **Penta-**: con cinco aberturas.
- **Hexa-**: con seis aberturas.
- **Poli-**: más de seis aberturas.
- **Cata-**: situada en la zona proximal.
- **Ana-**: situada en la zona distal.
- **Anacata-**: una en la zona proximal y otra en la distal.
- **Zono-**: situadas en la zona ecuatorial.
- **Dizono-**: situadas en dos zonas paralelas al ecuador.
- **Panto-**: situadas uniformemente por toda la superficie.

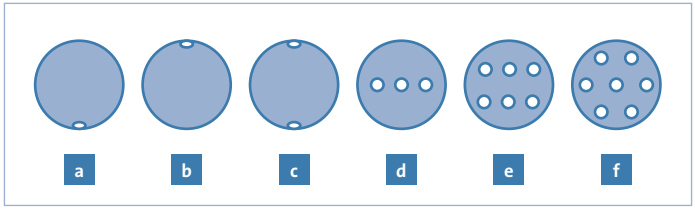


Figura 6. Tipos de polen según la ubicación de las aberturas (redibujado de Erdtman[6]). *a)* Cataporado, *b)* anaporado, *c)* anacataporado, *d)* zonoporado, *e)* dizonoporado y *f)* pantoporado.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

c) Posición de las aberturas. Para determinar este carácter, hay que tener en cuenta la tétrada meiótica en las cuales existen dos partes opuestas o polos; el polo proximal, situado en la parte interna de la tétrada y el polo distal, orientado hacia el exterior. De este modo, tomando como referencia el centro de la tétrada, se denomina polo proximal aquel situado más cercano a este punto, y polo distal al más alejado. Así mismo, la línea imaginaria que une ambos polos se denomina eje polar (P) y la perpendicular a esta en la zona media del grano de polen, eje ecuatorial (E) **(fig. 7)**.

Por lo tanto, en una descripción polínica, se debe decir si las aberturas están en el polo proximal o distal y si son paralelas o perpendiculares al ecuador. En todo caso, conocer la posición absoluta de las aberturas resulta difícil tanto en tétradas como en granos solitarios.

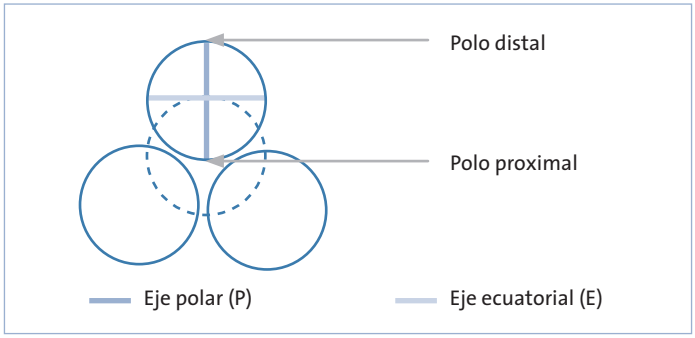


Figura 7. Tétrada de polen.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

d) Estructura. En general, en las aberturas simples, existe una modificación de la endexina y la intina en la región apertural con desaparición total o parcial de la ectexina. En las aberturas compuestas desaparece también la endexina.

2.2.3. Polaridad

La polaridad del grano de polen se explica por la orientación de las microsporas en la tétrada meiótica, en las cuales, como hemos comentado anteriormente, existen dos partes opuestas o polos, y a partir de ellos se pueden trazar los ejes polares y ecuatoriales. En los granos de polen solo existe un eje polar, o eje vertical de simetría, mientras que siempre existen al menos dos ejes ecuatoriales o ejes horizontales de simetría. Por tanto, los granos de polen pueden ser: *apolares*, no son discernibles los polos en los granos separados de la tétrada meiótica; *polares*: isopolares si el plano divide al grano en dos mitades similares, o *heteropolares:* si ambas partes son desiguales[6,7] **(fig. 8)**.

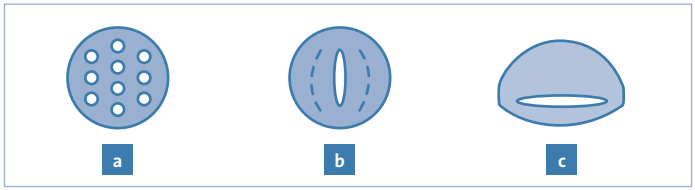


Figura 8. Tipos de granos de polen según la polaridad: *a)* apolar, *b)* isopolar *c)* heteropolar.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

2.2.4. La simetría

La simetria del grano de polen, bilateral o radial, es la correspondencia en las caras opuestas de un plano medio, tanto en el tamaño como en la forma de las mitades resultantes, y cuando además hay similitud en el número, posición relativa y tipo de aberturas presentes en el polen (fig. 9). Por tanto, la simetría del grano se basa en:

1. El número de planos verticales de simetría que existen en un grano particular.
2. Si los ejes ecuatoriales del grano son todos de igual longitud o no.
3. La presencia o ausencia de aberturas y su naturaleza.

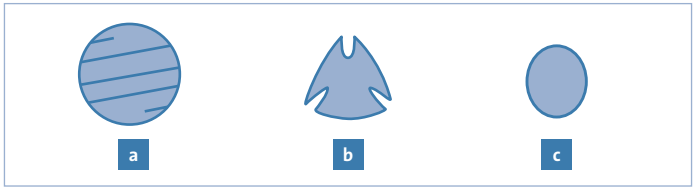


Figura 9. Tipos de grano de polen según la simetría: *a)* asimétrico, *b)* radiosimétrico *c)* bilateral.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

- **Asimétrico:** sin ningún plano de simetría.
- **Radiosimétrico:** con varios planos verticales de simetría.
- **Bilateral:** con un único plano principal de simetría.

2.2.5. Unidades del polen

Son las agrupaciones que se producen en muchos granos de polen durante la madurez de los mismos, en el interior de los sacos polínicos. La mayor parte de ellos, en su madurez, forman granos solitarios o *mónadas*, pero en muchos casos los granos de polen maduros permanecen unidos en: díadas, tétradas, seudomónadas o criptotétradas, políadas, masulas y polinias.

- **Díadas:** la producción de díadas es bastante infrecuente.
- **Tétradas:** es el tipo más común de agregados polínicos, después de las mónadas, y representan la retención de los cuatro productos resultantes de la meiosis de la célula madre del grano de polen.
- **Políadas:** las unidades de polen se presentan en un número mayor de 4, normalmente 8 o 16. Consisten en la unión visible o no de tétradas.
- **Masulas:** las unidades de polen son numerosas e incontables.
- **Polinias:** son la fusión completa de uno o más lóculos de la antera.

2.2.6. Forma del grano de polen

La forma del grano de polen de cada especie presenta un conjunto de caracteres morfométricos diferenciales que permiten clasificarlo e identificar su procedencia **(fig. 10)**.

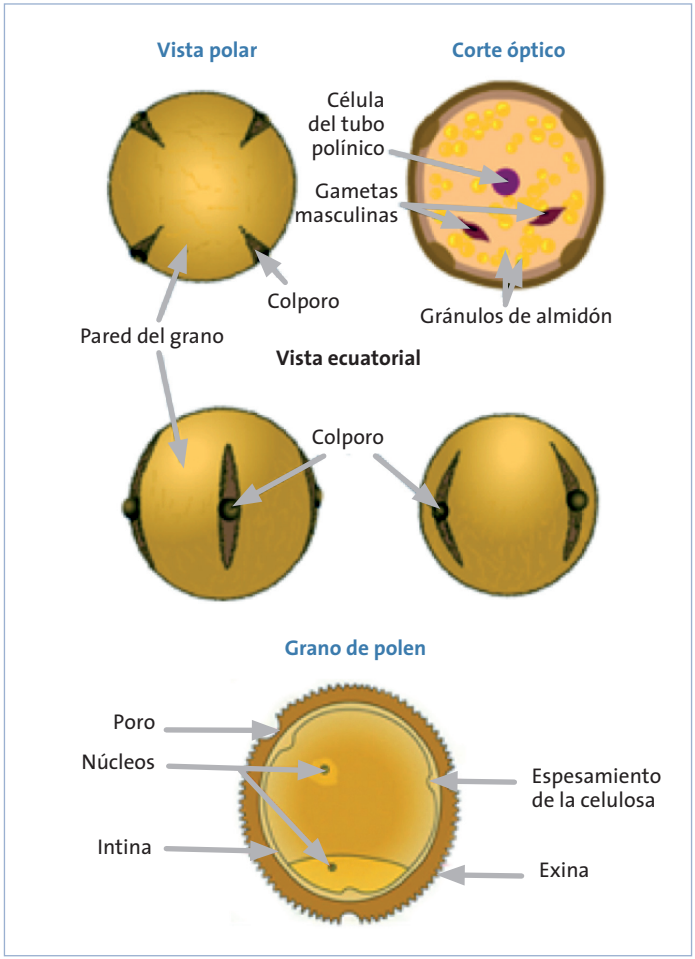


Figura 10. Morfología de un grano de polen.
Fuente: www.infovisual.info

La forma del grano de polen se define de dos maneras[8]: utilizando la razón de los ejes polar y ecuatorial descrito previamente (P/E) o describiendo el perfil del mismo, tanto en corte óptico meridiano (c.o.m.) como en corte óptico ecuatorial (c.o.e.), refiriéndonos a c.o.m. cuando el rayo luminoso del microscopio óptico es perpendicular al eje polar y c.o.e. cuando dicho rayo es paralelo al eje polar **(fig. 11)**.

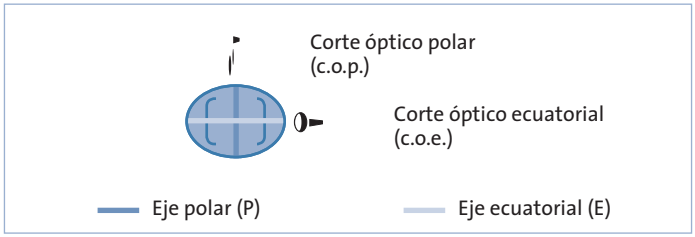


Figura. 11. Planos de visión del grano de polen.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

Está directamente relacionada con el tipo de abertura, la polaridad y la simetría. Si el eje polar es más corto que el ecuatorial, el polen es *oblado*; si el eje polar es más largo que el ecuatorial, el polen es prolado. La localización de las aberturas con respecto al contorno suele ser un carácter filogenético importante[9].

De acuerdo con el criterio de Erdtman[6], la nomenclatura se describe en la **tabla 2**.

Tabla 2. Nomenclatura de los granos de polen	
P/E	**Denominación**
2	Perprolado
1,33-2	Prolado
1,14-1,33	Subprolado
1-1,14	Prolado-esferoidal
1-0,88	Oblado-esferoidal
0,88-0,75	Suboblado
0,75-0,50	Oblado
0,5	Peroblado

Se habla de taxones estenopolínicos cuando la morfología del grano es invariable dentro del grupo, esto es, cuando algunas especies, uno o varios géneros, o familias, poseen en común un mismo tipo polínico característico y constante. Ejemplos de familias estenopalinológicas: *amaranthaceae, chenopodiaceae, poaceae* y *apiaceae*. Los taxones son euripolínicos, cuando su morfología polínica es variable (tamaño, abertura, escultura, etc.), con varios tipos dentro de un mismo grupo. Ejemplos de familias euripalinológicas son: *acanthaceae, pocynaceae, bignoniaceae, asteraceae, euphorbiaceae, fabaceae, malpighiaceae, rubiaceae* y *sapindaceae*.

2.2.7. Tamaño del grano de polen

Es considerado un carácter con valor taxonómico, ya que en general, asumiendo las variaciones estadísticas, permanece constante dentro de una misma especie. Los granos de polen más pequeños oscilan desde los 5 µm a los 8 µm (miosotis) y los más grandes pueden superar los 300 µm, como ocurre en algunas anonáceas o pináceas. El tamaño del polen es indiscutiblemente un carácter reversible y para su análisis, se deben determinar los tamaños primitivos del polen de taxones concretos (órdenes, familia, etc.) y debe ser utilizado en correlación con otros caracteres del taxón.

El tamaño del grano de polen se puede definir de acuerdo con la longitud media del mayor de sus dos ejes, distinguiéndose así seis categorías[6] **(tabla 3)**.

Tabla 3. Nomenclatura referente al tamaño del grano de polen[6]

Tamaño (µm)	Denominación
>200	Gigante
100-200 µm	Muy grande
50-100 µm	Grande
25-50	Mediano
10-25	Pequeño
<10	Muy pequeño

2.3. Vías de polinización

Aunque muchas tienen una forma de fecundación mixta, las plantas polinizan por dos vías:

a) **Entomófila** (del griego *entomos*: 'insecto'): mediante los insectos que se sienten atraídos por sus flores vistosas y aromáticas, provistas de un pegajoso polen, que se adhiere a las patas del animal cuando se posa en ellas, y que terminará en otra flor cuando se pose de nuevo. El 80% de las plantas pertenecen a este grupo, ejemplos: las rosas, los claveles, las hortensias, los geranios, etc. Al no estar o estar muy poco tiempo el polen flotando en el aire, es difícil que produzcan alergia respiratoria.

b) **Anemófila** (del griego *anemos*: 'viento'): polinizan a través del viento; como carecen de flores atractivas para los insectos, se sirven del viento para que sus granos de polen pequeños y numerosos vuelen lejos (aerovagantes) y fecunden a distancia otras plantas de su especie. Son las responsables de la patología alérgica respiratoria, como la rinoconjuntivitis y el asma bronquial, ya que esta es la vía por la que el individuo sensibilizado entra en contacto con el polen. Por esta razón, los días de viento son los que inducen más sintomatología, mientras que cuando llueve las gotas de agua limpian la atmósfera y los granos de polen se depositan por este peso añadido en el suelo. El ciclo al que está sometido el polen de las plantas anemófilas se denomina proceso aerobiológico.

2.4. El proceso aerobiológico

Consiste en la producción y liberación de partículas desde la fuente originaria, su dispersión a la atmósfera, transporte pasivo, deposición e impacto sobre el receptor. A estas etapas hay que añadir una de resuspensión, que hace que el material depositado vuelva a la circulación, generalmente por la acción de vientos **(fig. 12).**

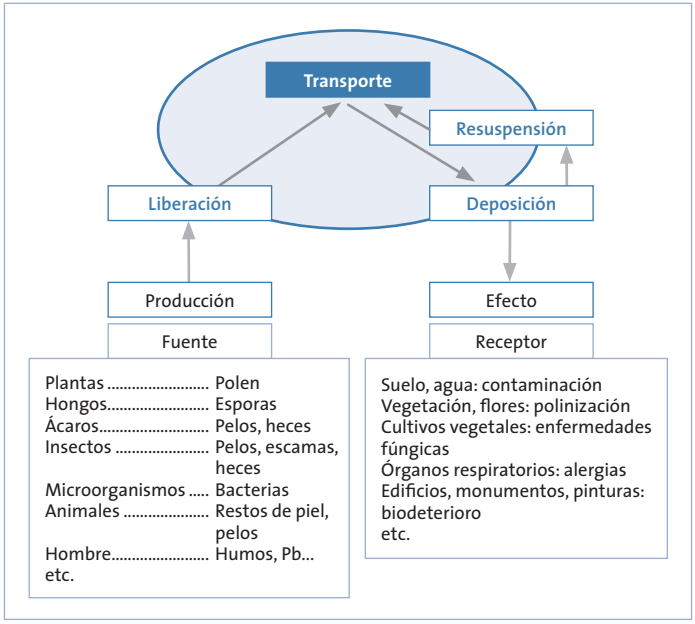


Figura 12. El proceso aerobiológico.
Fuente: http://www.encuentros.uma.es/encuentros42/aerobio.html.

2.4.1. Producción

Las plantas anemófilas generan grandes cantidades de polen con el fin de garantizar la efectividad del proceso, ya que al ser el aire un vector no específico (a diferencia de la polinización entomófila), con una elevada producción aumentan las probabilidades de que algún grano de polen llegue hasta la flor femenina y pueda producirse la fecundación.

La producción polínica de cada planta está determinada por el número de granos de polen por antera, número de anteras por flor, número total de flores y tamaño del individuo, caracteres que se encuentran al mismo tiempo bajo el control de factores genéticos, fisiológicos y ambientales[10]. En una determinada área climática suelen ser constantes, pero se puede convertir en muy variable si los individuos de la misma especie se encuentran en condiciones diferentes[11]. El clima, la temperatura y las precipitaciones son las que mayor importancia tienen sobre el resultado final de producción de polen, ya que afectan a las etapas de la fenología de la planta más importantes: la formación de los primordios florares y su posterior desarrollo durante el periodo de crecimiento vegetativo.

2.4.2. Emisión

La emisión engloba el conjunto de procesos que permiten el paso de los granos de polen desde la fuente productora hasta la atmósfera. Para facilitarlo, las plantas anemófilas

presentan una serie de adaptaciones como las inflorescencias en largos pedúnculos, los estambres prolongados y la ausencia o reducción de la corola **(fig. 13)**.

Figura. 13. Adaptaciones de la flor de las plantas anemófilas: *a) Platanus*, *b) Acer* y *c) Plantago.*

Una vez maduro el grano de polen, se produce una dehiscencia en las zonas más adelgazadas del endotecio de la antera y se forma una abertura que, en muchas ocasiones, se produce como consecuencia de cambios higroscópicos. Puede ser de diferentes tipos **(fig. 14)**.

De forma general, las anteras de las plantas anemófilas solo se abren cuando las condiciones climáticas son favorables, es decir, cuando el día es seco y cálido, por lo que el proceso de liberación suele ser diurno. La abertura de las anteras depende de un proceso de deshidratación en el cual el agua presente en los tejidos de su cubierta desaparece, bien por evaporación o bien por reabsorción a través de los filamentos[12].

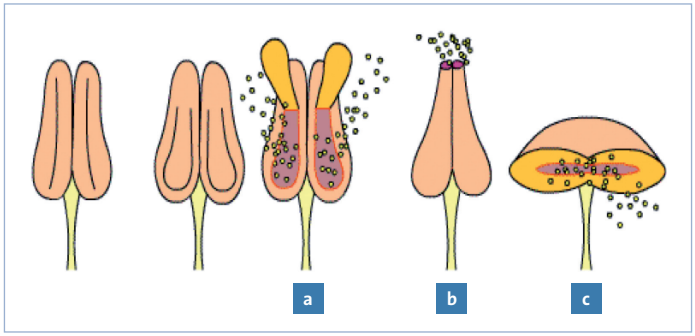


Figura 14. Tipos de dehiscencia de la antera: *a)* longitudinal, *b)* poro y *c)* transversal.
Fuente: www.biologia.edu.ar

2.4.3. Dispersión y transporte

Son los procesos físicos que propagan los granos de polen en la atmósfera. El modo por el cual tienen lugar depende de las condiciones meteorológicas, de la topografía local y de las características morfométricas del grano.

Los movimientos verticales y horizontales del aire son los que van a condicionar su dispersión, determinando su grado de alejamiento de la fuente emisora. En condiciones normales, la temperatura del aire desciende 1 °C por cada 100 metros de altura. Así, el aire caliente poco denso, próximo a la superficie, arrastra los granos a las capas más frías y densas, alejándolas de las zonas de producción **(fig. 15)**.

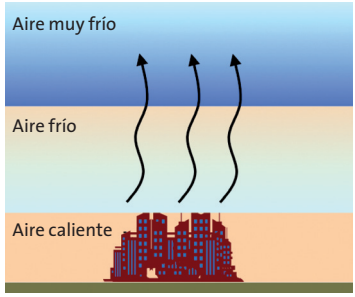


Figura. 15. Movimiento vertical de las partículas en situación normal.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

En algunas ocasiones se produce la situación contraria, es decir, un gradiente positivo de temperatura con la altitud o inversión térmica, debido a que a veces la capa de aire inferior se enfría con más rapidez que la inmediatamente superior, lo que genera la existencia de una masa de aire caliente intermedia atrapada entre dos capas de aire frío. Esta capa no puede circular y se produce una situación de gran estabilidad que inhibe la difusión vertical y que, por lo tanto, provoca la concentración de las partículas en las capas más bajas[13]. Es típica de noches frías y despejadas, cuando el suelo pierde rápidamente calor por radiación y hace que las capas de aire más próximas a él también se enfríen. De esta forma se invierte el gradiente de temperatura normal de la atmósfera. El registro de picos nocturnos de polen suele atribuirse a este fenómeno **(fig. 16)**.

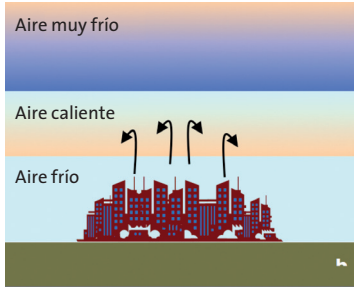


Figura 16. Movimiento vertical de las partículas en inversión térmica.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

2.4.3.1. Efecto isla de calor

Es característico de las ciudades y afecta de forma importante a la difusión y transporte de las partículas[14]. Se debe a la presencia de altos niveles de contaminación, que generan un microclima propio, responsable de una concentración de calor superior al registrado en las áreas rurales que la rodean. De este modo, se genera un ciclo cerrado de vientos locales que favorecen la concentración de las partículas en suspensión **(fig. 17)**.

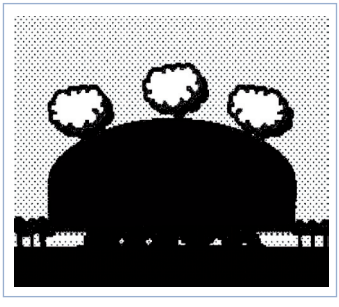


Figura 17. Efecto isla de calor.
Fuente: Tortajada, B. (2003)[5].

2.4.3.2. Efecto de las tormentas

Las tormentas se forman por la presencia de nubes del tipo cumulonimbos, que se desarrollan cuando en la atmósfera se producen fuertes corrientes de aire ascendente, al existir una masa de aire frío en las capas altas de la atmósfera y un sobrecalentamiento de la superficie terrestre o marítima. El aire que se ha calentado en la superficie asciende y arrastra grandes cantidades de granos de polen hacia las capas altas de la atmósfera, de forma que a medida que asciende, se enfría, se condensa y forma gotas de agua o granizo. Además de producirse un importante impacto en los mecanismos de dispersión y su transporte, el polen que ha ascendido sufre una rotura osmótica y libera las partículas submicrónicas, que descienden con las corrientes de aire frío que viajan hacia la superficie terrestre **(fig. 18)**.

Este efecto tiene una gran importancia clínica. Cuando el grano de polen se hidrata al contacto con la mucosa respiratoria, sus componentes se difunden al exterior a través del tubo polínico. Si la hidratación se produce como consecuencia de la humedad ambiental, se produce una fragmentación osmótica y se generan aerosoles biológicos o partículas submicrónicas que transportan alérgenos.

El tamaño del grano de polen oscila entre 5 µm y 200 µm, pero el de las partículas submicrónicas es mucho menor de 0,5-2 µm. Estas partículas proceden del interior del citoplas-

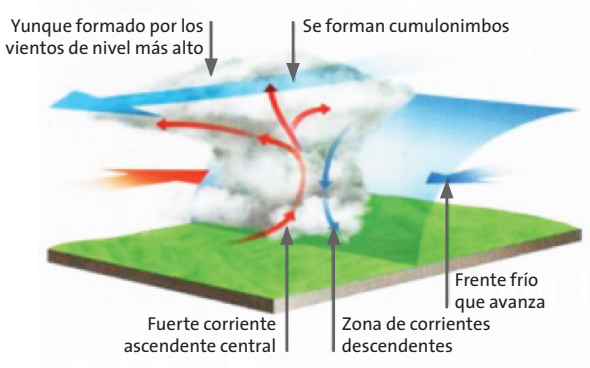


Figura. 18. Efecto de las tormentas.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/alergeno.htm.

ma del polen, los gránulos de almidón (pueden existir hasta 700 por grano de polen y con un tamaño de 3 µm), las partículas P (polisacáridos precursores de la membrana) y estructuras relacionadas con la planta (orbículos de Ubisch). El tamaño del grano de polen imposibilita su llegada a la pequeña vía aérea, pero las partículas submicrónicas sí lo hacen. Por tanto, el grano de polen íntegro al contacto con las mucosas nasales o conjuntivales se hidratará en un medio isotónico y sus alérgenos se difundirán en las mucosas produciendo síntomas nasales y/o conjuntivales, mientras que la hidratación hipotónica del polen (humedad, tormentas o lluvia) lo fraccionará formando las partículas submicrónicas responsables también de los síntomas asmáticos.

En condiciones naturales, las especies anemófilas se encuentran formando comunidades tipo bosque o pradera, donde los individuos se encuentran próximos entre sí, y no es necesario que el polen se desplace largas distancias para que se produzca la fecundación. No obstante, se pueden dar situaciones en las que se produce un transporte a gran distancia, cuando en el movimiento vertical el grano de polen alcanza las capas más altas de la troposfera, donde existen condiciones de estabilidad que favorecen su permanencia en el aire, y entonces puede recorrer largas distancias hasta su deposición[15]. Un estudio sobre este tipo de vehiculización realizado en Canarias[16] describió varios tipos de transporte de diversos pólenes extrarregionales hacia Tenerife. Desde el Mediterráneo, especialmente de la zona sur de la península Ibérica y Marruecos a través de vientos de componente Este, se vehiculizan tipos polínicos arbóreos; desde el sector sahariano en la capa límite marina, principalmente polen procedente de plantas herbáceas, y desde el Sahel, en forma de episodios de baja frecuencia asociados a sistemas de altas presiones sobre el norte de África, caracterizados por unas concentraciones bajas de los diversos tipos polínicos. Otro estudio retrospectivo de modelos de dispersión y fuente/receptor mostró que la zona más probable de las fuentes de emisiones responsables de los picos de polen de abedul en Cataluña[17] se situaba en un área de Europa que comprende desde el norte de Italia hasta el centro de Alemania. Desde hace años hay suficiente literatura científica que pone de

manifiesto las grandes distancias que pueden llegar a recorrer los granos de polen de diversas especies **(tabla 4)**.

Tabla 4. Distancias comprobadas de transporte de pólenes de algunos taxones, según revisión de Munuera[17]

Taxón	Distancia en km	Referencia
Alnus glutinosa	1.300	Potter & Rowley, 1960
Ambrosia	600	Basset & Terasmae, 1962
Betula	1.000 2.000	Potter & Rowley, 1960 Hjelmroos, 1991
Castanea sativa	>100 36-40	Tampieri et al., 1977 Peeters & Zoller, 1988
Corylus avellana	585	Potter & Rowley, 1960
Juniperus	480	Potter & Rowley, 1960
Pinus sylvestris	1.000 400	Potter & Rowley, 1960 Lindgren et al., 1995
Quercus	1.000-1.500	Potter & Rowley, 1960
Salix	1.000	Potter & Rowley, 1960

2.4.4. Deposición

La deposición tiene lugar por efecto de la gravedad, impacto, difusión (deposición seca) o debido al efecto las precipitaciones (deposición húmeda)[19]. En ausencia de turbulencias, la acción gravitatoria hace que los granos de polen se depo-

siten rápidamente. La deposición por efecto de las precipitaciones tiene lugar mediante dos vías[15,19,20]: *rainout*, mediante la cual las partículas pueden actuar como núcleos de condensación sobre los cuales se forman las gotas de lluvia; este proceso tiene lugar este dentro de las nubes; y *washout*, o lavado atmosférico, debido a la capacidad que tienen las precipitaciones para captar y arrastrar las partículas presentes en la atmósfera; este proceso se produce por debajo de las nubes, bien por la lluvia, la nieve o el granizo. La velocidad límite de caída de una partícula esférica puede ser expresada en términos generales según la Ley de Stokes, la cual regula la velocidad terminal de una esfera en función de su radio y su densidad, la densidad del fluido ambiente y la aceleración de la gravedad, cuando todas las capas del fluido se deslizan de la misma manera y el flujo es laminar **(tabla 5)**. No obs-

Tabla 5. Velocidades terminales de partículas en función de su radio basadas en la Ley de Stokes[13]

Radio (µm)	Velocidad terminal (cm/s)
5	0,3
10	1,2
15	2,7
29	4,8
25	7,5
30	10,9

tante, las características de tamaño, peso y grado de hidratación del grano de polen dificultan la aplicación directa de dicha ley, ya que la relación entre superficie y volumen suele ser grande y quedan disminuidas las velocidades teóricas[18].

2.4.5. Impacto

El impacto se produce cuando los granos de polen transportados por el viento inciden sobre un obstáculo y se depositan en el mismo. En el proceso de difusión las partículas migran hacia una superficie y chocan con ella y permanecen allí. Este proceso tiene especial importancia en el caso de las partículas inferiores a 1 micra y a en las vías respiratorias, de modo que aquellas que por su tamaño pueden ser inhaladas hasta las zonas más profundas del aparato respiratorio, como son los bronquiolos y los alvéolos, quedarán allí depositadas por efecto de la difusión[21].

2.4.6. Resuspensión

Tras la deposición puede ocurrir que se den condiciones favorables para una reflotación del polen, que reproducirá el proceso de difusión, transporte y deposición. Este hecho se ha podido demostrar cuando se registran granos una vez finalizado el periodo de floración de su fuente, que, además, suelen encontrarse en mal estado, rotos, deshidratados o con partículas contaminantes en su superficie. En este fenómeno, cobran especial importancia la velocidad del viento y las condiciones de humedad de la superficie donde se en-

cuentra depositado el polen. Se estima en 15 km/h el umbral de velocidad de fricción a partir del cual puede tener lugar la resuspensión[22].

2.5. Metodología de registro

La mayoría de redes de muestreo aeropolínico españolas y europeas utilizan el captador volumétrico tipo Hirst[4] de la casa inglesa Burkard Ltd., ya que reúne una serie de características que lo hacen muy útil:

1. Por su estandarización permite la comparación de los resultados obtenidos entre las distintas estaciones de muestreo.
2. Permite un seguimiento muy fino de las concentraciones aeropolínicas con una precisión horaria.
3. Su mantenimiento es bastante sencillo, ya que solo necesita una toma de corriente y resiste prácticamente cualquier condición meteorológica sin alterar su funcionamiento ni la validez de los datos obtenidos.
4. Realiza un registro aeropolínico continuado de hasta 7 días consecutivos sin intervención del operador.

El modelo actual es una modificación del diseño original de Hirst *1 to 7 Day Recording Volumetric Burkard® Spore Trap* **(fig. 19)**, formado por:

- **Estructura metálica** que posee lateralmente una trampilla de succión de 2 x 14 mm para la entrada del aire.

- **Cabezal,** donde se sitúan un tambor metálico con 345 mm de circunferencia y un sistema de relojería que hace girar el tambor 2 mm/hora.
- **Bomba de vacío**, que succiona ininterrumpidamente un flujo de aire de 10 litros por minuto, valor que se aproxima a la tasa de respiración de un adulto.
- **Válvula**, que regula el flujo de entrada de aire ubicado en el interior del captador.
- **Cubierta**, que protege la trampilla de succión de los efectos de la lluvia.
- **Veleta**, que permite en todo momento que la boca de entrada de aire esté orientada correctamente.
- **Toma de corriente eléctrica.**

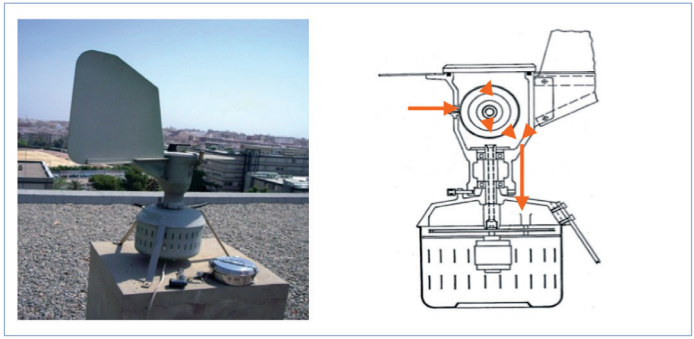


Figura 19. Captador Burkard Spore Trap y su esquema del mismo (en naranja circulación del aire).

Este dispositivo realiza el muestreo por succión. La bomba de vacío genera por centrifugación una corriente de aire de volumen constante y conocido, que al atravesar el orificio de entrada inmediatamente impacta contra la superficie receptora, una cinta de poliéster Melinex® impregnada con una sustancia adhesiva. Dicha cinta se coloca alrededor de un tambor que se encuentra situado a 0,7 mm de la trampilla de entrada de aire, distancia que permite un correcto muestreo al evitar que las partículas se pierdan por dispersión. El mencionado tambor, gracias al mecanismo de relojería, va girando permitiendo realizar un muestreo ininterrumpido durante un periodo completo de 7 días. La recogida de muestras se realiza un día a la semana a una hora fija establecida **(fig. 20)**. La muestra semanal es entonces llevada al laboratorio para el procesado, montaje y lectura de las preparaciones.

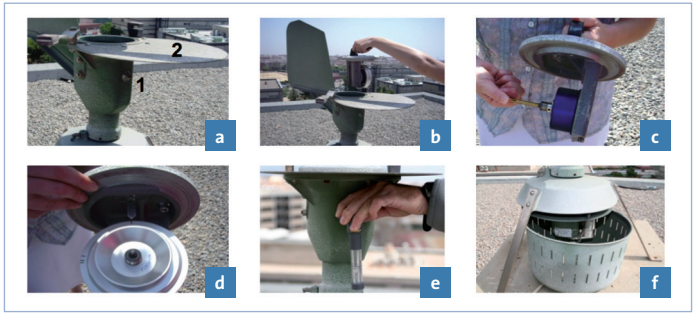


Figura 20. Componentes del aparato muestreador: *a)* parte superior donde se puede apreciar la trampilla de succión (1) y la cubierta (2), *b)* extracción del cabezal, *c)* sistema de relojería del cabezal, *d)* tambor, *e)* medidor de flujo de aire y *f)* bomba de vacío.

2.5.1. Preparación de las muestras

Una vez que se ha llevado la muestra semanal al laboratorio, se retira la cinta del tambor y se coloca sobre una regleta de metacrilato, la cual sirve de guía para la división de la cinta. Esta se corta en siete fragmentos de 48 mm. Cada uno de ellos corresponde al muestreo de 24 horas, ya que, como se indicó anteriormente, el tambor gira 2 mm cada hora. Cada fragmento se coloca, con la cara de recogida de polen hacia arriba, sobre un portaobjetos etiquetado con la fecha de la muestra en el cual se ha añadido previamente una gota de agua destilada. Esta, por cohesión, evita que se mueva el fragmento de cinta sobre el portaobjetos durante el proceso de montaje. A continuación, la muestra se tapa con un cubreobjetos, sobre el que se ha puesto el medio de montaje. Finalmente, se presiona con suavidad para evitar la formación de burbujas. Una vez seca la preparación, se limpia con un paño y agua destilada y se sella con laca esmalte transparente y así queda lista para su posterior examen microscópico **(fig. 21)**.

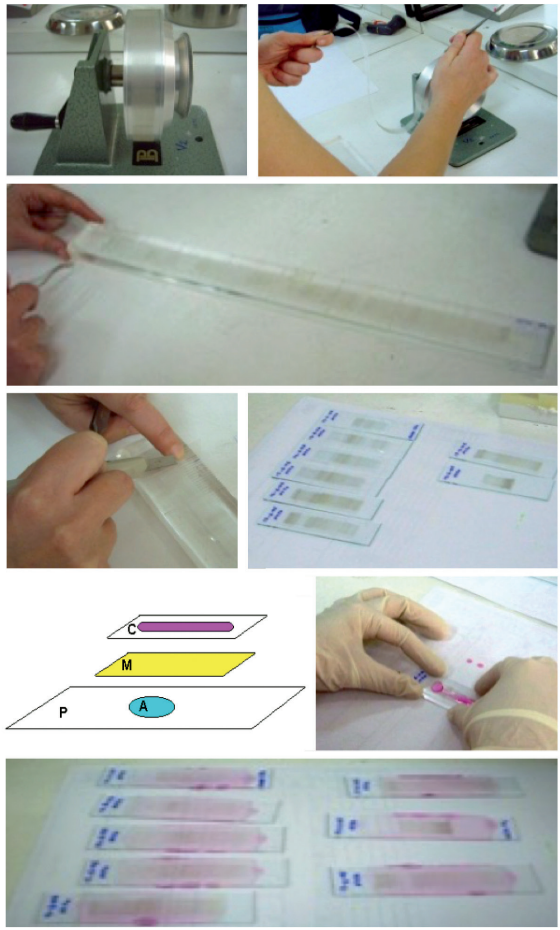


Figura 21. Preparación de las muestras; P: portaobjetos, A: agua destilada, M: muestra de polen y C: cubreobjetos con el medio de montaje.

2.5.2. Análisis microscópico de las muestras

El análisis de las muestras se realiza por microscopia óptica. El resultado que proporciona esta lectura es una cifra de concentración atmosférica de polen que viene expresada en granos de polen por metro cúbico de aire (granos/m^3). La muestra no se examina en su totalidad; únicamente se realiza una lectura de una pequeña proporción, entre el 10% y el 15%, ya que de otro modo el tiempo empleado en la lectura de la muestra completa sería excesivamente largo. La eficiencia de este procedimiento ha sido evaluada por diversos autores[23,24] y, en general, se ha encontrado una aproximación muy buena. Se realiza una lectura longitudinal de la muestra consistente en elegir al azar cuatro puntos en el margen izquierdo de la misma, a partir de los cuales se procede a realizar cuatro barridos de lectura microscópica a 40 x 10 aumentos, es decir, con una magnificación de 400. Con la ayuda de una plantilla de acetato, que lleva marcados verticalmente los 24 intervalos de 2 mm que suponen cada hora del día, se puede obtener el número de granos de polen que han sido capturados en cada una de las horas del día **(fig. 22).**

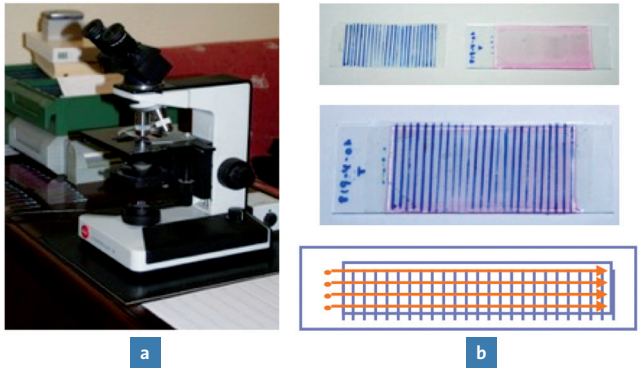


Figura 22. *a)* Microscopio empleado en la lectura, *b)* portaobjetos con muestra diaria, plantilla de acetato empleada en la lectura y esquema de método de lectura empleado.

2.5.3. Tratamiento de los datos

Los datos obtenidos se multiplican por un factor de extrapolación que permite obtener una cifra de estimación de la cantidad de granos de polen por metro cúbico de aire presentes en la atmósfera. Los valores se introducen en una base de datos (Microsoft Access® o Excel®) y quedan clasificados por hora, día y tipo polínico.

La mayor parte del polen recogido en un captador tiene su origen en la flora próxima, lo que explica las diferencias observadas para un determinado tipo polínico en estaciones situadas relativamente cerca. Se ha estimado que los datos

obtenidos en una estación de medición son válidos para un área de 30 km[25]. Sin embargo, los datos cuantitativos (niveles de polen), que no los de estacionalidad, no pueden extrapolarse a regiones amplias, por estar condicionados por la vegetación próxima al captador, circunstancia de especial importancia en el medio urbano por la presencia o ausencia de árboles ornamentales como cupresáceas, plátanos, etc. Este importante aspecto debe ser considerado cuando se pretenden construir modelos de predicción, o informar del riesgo de exposición de áreas más amplias a partir de datos aerobiológicos de una sola estación, ya que puede darse un sesgo de sobreestimación o subestimación de exposición a un determinado polen.

2.6. Difusión e interpretación de la información

La información se presentará de una manera inteligible para los profesionales sanitarios, pacientes, medios de comunicación y población general, como una herramienta de diagnóstico, prevención y/o alerta. En la actualidad, esta labor la realizan múltiples redes de información aerobiológica, de las que la del Comité de Aerobiología de la Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica (SEIAC), con sus más de 50 estaciones, es la que tiene una mayor implantación a nivel estatal. Ofrece los datos en la web www.polenes.com **(fig. 23)**.

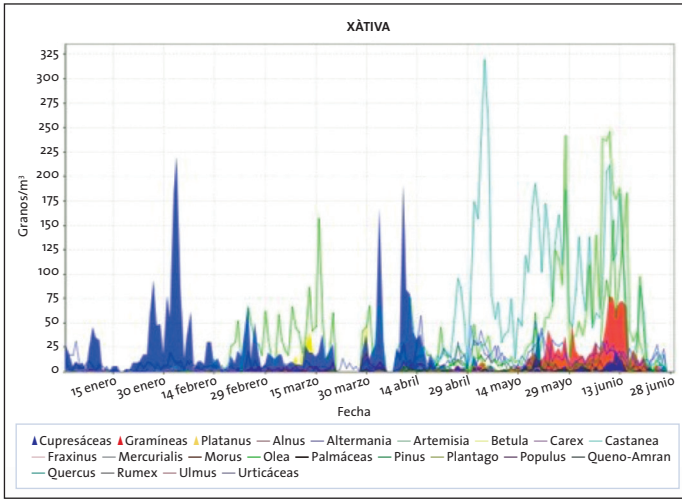


Figura 23. Captura de imagen de los datos de polinización de la estación de Xàtiva durante el primer semestre de 2016.

A partir de esta fuente se han desarrollado una serie de herramientas de información como "alerta polen", implantada en nuestro país desde 2011 por el Comité de Aerobiología de la SEAIC **(fig. 24)**. Se trata de una aplicación para teléfonos móviles de última generación que incluye alertas de datos actualizados de forma diaria durante mayo y junio, y semanalmente durante el resto del año. Es de gran utilidad por la facilidad e inmediatez a la hora de consultar datos, pues informa al paciente de los niveles de polen concretos a los que es alérgico y solo de aquellas provincias que le son de interés. Además, cuando se superan los umbrales de alerta,

Figura 24. Captura de imagen de pantalla de la aplicación AlertaPolen®.

recibe al instante una alarma en el móvil que le advierte de la situación de riesgo en el sitio donde se encuentra. De esta forma, el paciente sabe que debe limitar sus estancias al aire libre y comenzar el tratamiento indicado por el alergólogo.

La Red Española de Aerobiología[26] propuso unas categorías según las concentraciones alcanzadas por los distintos tipos polínicos que se detectan en suspensión atmosférica, para intentar establecer una correlación entre exposición y riesgo de síntomas **(tabla 6)**.

Sin embargo, no existe acuerdo sobre qué concentración umbral es capaz de reactivar a un número significativo de pacientes polínicos. Los esfuerzos por establecer una relación dosis respuesta y detectar un nivel umbral chocan con

Tabla 6. Clasificación de la calidad del aire por grupos, en función del tipo polínico, la cantidad de polen registrado y su capacidad alergénica

Grupo 1	
Categorías	Nulo: <1 grano/m³
	Bajo: 1-15 granos/m³
	Moderado: 16-30 granos/m³
	Alto: >30 granos/m³
Tipos polínicos incluidos: *Urticaceae, Mercurialis, Echium, Fabaceae, Apiaceae, Cannabis, Brassicaceae*	
Grupo 2	
Categorías	Nulo: <1 grano/m³
	Bajo: 1-25 granos/m³
	Moderado: 26-50 granos/m³
	Alto: >50 granos/m³
Tipos polínicos incluidos: *Poaceae, Chenopodiaceae-Amaranthaceae, Plantago, Rumex, Artemisia, Ericaceae, Asteraceae, Helianthus*	
Grupo 3	
Categorías	Nulo: <1 grano/m³
	Bajo: 1-30 granos/m³
	Moderado: 31-50 granos/m³
	Alto: >50 granos/m³
Tipos polínicos incluidos: *Betula, Casuarina, Corylus, Castanea, Eucaliptus, Alnus, Acer, Populus, Ulmus, Ligustrum*	
Grupo 4	
Categorías	Nulo: <1 grano/m³
	Bajo: 1-50 granos/m³
	Moderado: 51-100 granos/m³
	Alto: >100 granos/m³
Tipos polínicos incluidos: *Olea, Cupressus, Platanus, Populus, Quercus, Pinus*	

una serie de limitaciones que son comentadas ampliamente por algunos autores[27]. En este sentido, en la actualidad hay en marcha un estudio multicéntrico nacional elaborado por el Comité de Aerobiología de la SEIAC entre cuyos objetivos principales se encuentra determinar el umbral de reactivación a los pólenes de forma general y en cada una de las ciudades participantes.

En líneas generales se asume que unas cifras de entre 10 y 50 granos/m^3 según estudios, tipo polínico y/o área geográfica estudiada, son capaces de inducir sintomatología.

Debido a la multitud de combinaciones que resultan de encuadrar los diferentes tipos polínicos que se detectan en cada jornada, así como la posible presencia simultánea de varios tipos con capacidad alergénica, se pueden plantear diferentes escenarios que orienten a ciertos grados de calidad del aire. Para ello, asumiendo los datos de la tabla 6, en función del tipo polínico que se encuentre presente en la atmósfera, su abundancia y capacidad alergénica, de una manera genérica se acepta el concepto de **calidad biológica del aire,** que distribuye la información en cuatro grandes apartados **(tabla 7)**.

Tabla 7. Calidad biológica del aire	
Buena	Todos los tipos polínicos se mantienen en niveles bajos
Aceptable	Casi todos los tipos polínicos presentes alcanzan concentraciones catalogadas como bajas y algunos, no especialmente alergénicos, moderadas
Regular	Las concentraciones de tipos polínicos considerados de algún potencial alergénico entran en la categoría de "moderado". O cuando dos o más tipos polínicos de elevado potencial alergénico están próximos a ser moderados sin llegar a entrar en esta categoría
Mala	Alguno de los tipos de elevado poder desencadenante de procesos alérgicos está presente en concentraciones altas. O cuando dos o más tipos polínicos de gran poder alergénico están presentes simultáneamente en concentraciones moderadas

2.7. Resumen

Las características morfológicas del grano de polen y el proceso biológico de la planta, supeditado por su hábitat y la climatología, condicionarán el proceso aerobiológico y, por ello, su exposición en la población. Esta puede medirse mediante estaciones de muestreo distribuidas por todo el Estado, cuya información hoy día está al alcance de la población general en soporte informático.

Aerobiología,
polinosis y cambio climático

3
POLINOSIS

3. POLINOSIS

Las dos principales afecciones alérgicas relacionadas con la exposición al polen y las esporas de los hongos son la rinitis y el asma alérgicas, en la actualidad responsables de un importante problema de salud mundial con un gran coste económico.

En Europa el informe ARIA[28] estima unas cifras de prevalencia de rinitis alérgica de entre el 17% en Italia y el 28,5% de Bélgica, con valores medios aproximados del 25%. En España el estudio *Alergológica 2005*[29], estableció una prevalencia de rinitis alérgica del 22% de la población, y era el polen su primera causa y el motivo de consulta más frecuente (55%), con un impacto variable según el área geográfica: ocupaba el 63% de las consultas en la zona centro y el 40% en el resto[29,30]. La prevalencia del asma fue del 28%[29]. En ambas enfermedades el polen atmosférico fue el principal agente etioló-

gico (51%), y era ligeramente más común la sensibilización a múltiples alérgenos (55%) que a uno solo. La rinitis alérgica fue ligeramente más frecuente en zonas semiurbanas, que en las urbanas o rurales (51%). Un hecho bastante llamativo es el predominio del asma (63%) en residentes de zonas urbanas, respecto a semiurbanas (17,8%) o rurales (19%). El asma bronquial afecta en torno al 10% de la población infantil[31] y al 4% de los adultos[32]. El polen es el responsable del 52% del asma alérgica en el centro de la Península y del 27% en el resto, lo que supone la segunda causa de este tipo de asma en general[28]. Tal asociación puede explicarse por que en los meses de primavera (con ciertos pólenes también sucede fuera de esta estación) se detecta polen incluso dentro de las viviendas, situación especialmente comprometida en pacientes intensamente sensibilizados[33-35]. Y es que aunque el tamaño del polen es demasiado grande para alcanzar las vías respiratorias intrapulmonares, hay fuertes evidencias de que cuanto mayor es su concentración, mayor es la presencia de síntomas de asma[33,34], debido, probablemente, a las partículas submicrónicas transportadas por el aire que son adsorbidas por micropartículas procedentes de la combustión de los motores diésel[35].

Según la Encuesta de Morbilidad Hospitalaria del Instituto Nacional de Estadística[36], durante el año 2006 se produjeron en España 26.696 ingresos hospitalarios por asma, lo que representa una tasa de un promedio de 60 ingresos por 100.000 habitantes/año.

El polen de las gramíneas que identificara Blackley en 1873 como productor de la fiebre del heno[1] es el que más alergia produce en el mundo; no en vano estas plantas constituyen hasta el 20% de la superficie vegetal del planeta. Obviamente, no es el único; existen otras familias como las urticáceas capaces de provocar hasta el 60% de positivos en pacientes sensibles, olivo al 40% y abedul al 30%. En la población madrileña[33] la sensibilización predominante determinada por estudio de pruebas cutáneas (*skin prick test*) son las gramíneas, seguidas de olivo, plantago, ciprés y plátano de sombra.

La prevalencia de la rinitis alérgica se ha multiplicado en las últimas décadas. En Suiza se ha incrementado en más de 14 puntos en tan solo 70 años, del 0,8% al 14,2% entre 1926 y 1995[37]. En países nórdicos la prevalencia se ha duplicado cada 10 años en los últimos 30: 4,4% en 1971, 8,4% en 1981 y 15% en 1992[38]. En España las cifras son similares; comparando las de 1993-1994 y 2001-2003 en escolares de 6-7 años el incremento de la prevalencia es de una *odds ratio* del 1,61[39].

A este ritmo, diversos autores estiman que entre los años 2020 y 2030 casi la mitad de la población se encontrará afectada de rinitis alérgica[40] o, lo que es lo mismo, la polinosis habrá pasado de ser una enfermedad elitista hace poco más de un siglo[1] a convertirse en el trastorno inmunológico más común que afecta al ser humano en la actualidad.

3.1. Resumen

La rinitis alérgica es la patología más común en alergología. Se trata del trastorno inmune más frecuente con una prevalencia que va en aumento, de forma que se espera que pueda alcanzar a la mitad de la población general en una o dos generaciones.

Por todo ello, la polinosis supone un problema de salud pública mundial.

4

PÓLENES DE INTERÉS ALERGOLÓGICO EN ESPAÑA

4. PÓLENES DE INTERÉS ALERGOLÓGICO EN ESPAÑA

En España, entre los árboles, el polen del olivo es el que tiene mayor capacidad alergénica seguido del de *Cupressus, Platanus hispanica* y *Betula*. Entre las plantas predomina el de las gramíneas; y entre las denominadas malezas, la *Parietaria* y las *Amaranthaceae* y *Chenopodiaceae*.

Por áreas geográficas, las gramíneas son la primera causa de polinosis en el centro y norte de la Península, el olivo en el sur (Jaén, Sevilla, Granada, Córdoba) y la *Parietaria* en las regiones costeras mediterráneas (Barcelona, Murcia, Valencia). Las *Chenopodiaceae* predominan en zonas semidesérticas de provincias como Alicante, Zaragoza y Almería.

Los pólenes alergénicos aparecen en el ambiente según la vegetación y el clima. En general, los árboles predominan du-

rante el invierno y principios de la primavera; las gramíneas, durante la primavera, y las malezas, durante el verano y el otoño.

4.1. Gramíneas ('Poaceae')

Se trata de una familia cosmopolita dominante en cualquier formación vegetal terrestre, y de las más significativas a nivel económico. Por su gran abundancia y alergenicidad, son la causa más importante de polinosis en España y en Europa[41], no solo en las ciudades con altos recuentos de polen como el centro y sur de España, sino también en zonas con niveles más bajos.

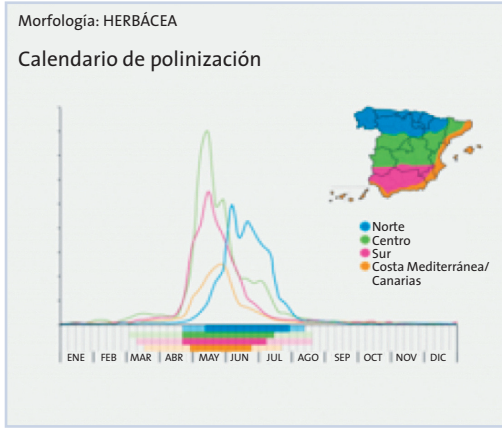
Se localizan en cualesquiera de los ecosistemas que forma la vegetación natural, como pastizales, bordes de corrientes de aguas y matorrales o colonizando medios ruderalizados como márgenes de caminos, cultivos, campos abandonados, alrededores de medios urbanos, etc. En los cultivos de cereales son frecuentes la avena, el trigo y la cebada; el maíz es la especie que predomina en las zonas de regadío, el esparto en el clima subdesértico y las cañas en la costa. De sus miles de especies, tienen importancia en alergología un reducido número, en concreto las que producen un polen pequeño, (20-45 µm de diámetro) abundante y con amplia capacidad aerovagante[42], características propias de la subfamilia *Pooideae* en la mayoría de sus géneros: *Phleum, Dactylis, Lolium,*

Paspalum, Trisetum, Festuca, Poa, Anthoxanthum, Holcus, Agrostis y Alopecurus **(fig. 25)**. Las subfamilias *Chloridoideae* (*Cynodon*) y *Panicoideae* (*Sorghum* y *Paspalum*) importantes en el sur de Estados Unidos no tienen tanta relevancia en la península Ibérica.

Figura 25. *a)* Gramíneas, *b) Phleum pratense, c) Hordeum.*
Fuente: http://www.plantarteentuoasis.com/2014/04/gramineas-jardin-texturas-composiciones. html. http://calphotos.berkeley.edu/cgi/img_query?enlarge=0000+0000+0105+2309.
https://commons.wikimedia.org/wiki/F ile:Hordeum-murinum-20080324.JPG

4.1.1. Aerobiología de las gramíneas

Debido a esta gran diversidad biológica, cada una con su particular periodo de floración, la época de polinización de las gramíneas es muy amplio, entre 2 y 10 meses. Sin embargo y según zonas, el periodo de sintomatología suele ser más corto, fundamentalmente mayo y en menor medida junio **(fig. 26)**.



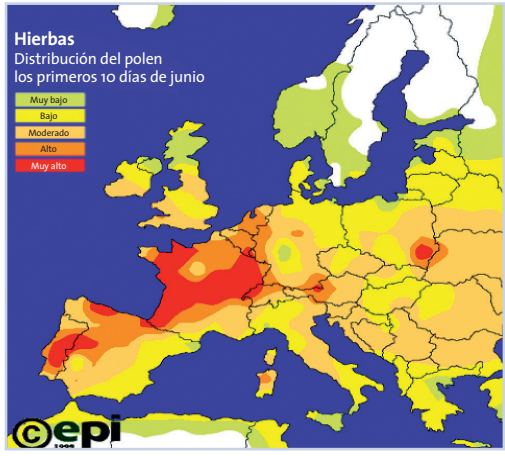


Figura 26. Calendario de polinización de las gramíneas por regiones españolas y Estados europeos. Fuente: http://encuentralainspiracion.es/wp-content/uploads/2014.

El polen de las gramíneas es de morfología esferoidal, ovoide o elíptica, de tamaño muy variable según la especie, de 20 a 30 µm en las silvestres y hasta de 100 µm en las cultivadas, como es el caso del polen del maíz. Es heteropolar, de simetría bilateral y monoporado. El poro es circular, con el borde engrosado y cubierto por un opérculo que, con frecuencia, se desprende. La exina es fina y de relieve granuloso **(fig. 27)**.

Cantidades de polen superiores a 50 granos/m^3 inducen reactivación clínica en la mayoría de pacientes alérgicos.

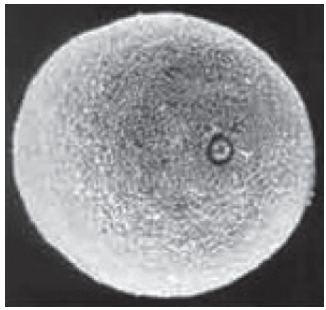


Figura. 27. Grano de polen de *Pooidae*.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Gram%C3%ADneas/index.htm.

4.1.2. Alérgenos del polen de las gramíneas

Las características fisicoquímicas de los alérgenos de las diferentes especies de gramíneas son muy similares, hecho que justifica la existencia de una importante gran reactividad

cruzada entre ellas. Estas semejanzas, por un lado, permiten una clasificación en grupos que comparten secuencias moleculares, independientemente de la especie de procedencia y, por otro, facilitan el diagnóstico y posterior tratamiento, ya que con una o dos que se incluyan en el estudio, se puede cubrir todo el espectro.

Los alérgenos principales o mayores (definidos así por su mayor capacidad de unión a la IgE y de sensibilizar a un mayor porcentaje de pacientes) pertenecen a los grupos I (cisteinil proteasa β-expansina) y grupo V (ribonucleasa). Otros como los del grupo (polcalcinas) y grupo XII (profilinas) se han implicado en mecanismos de reactividad cruzada con alimentos vegetales.

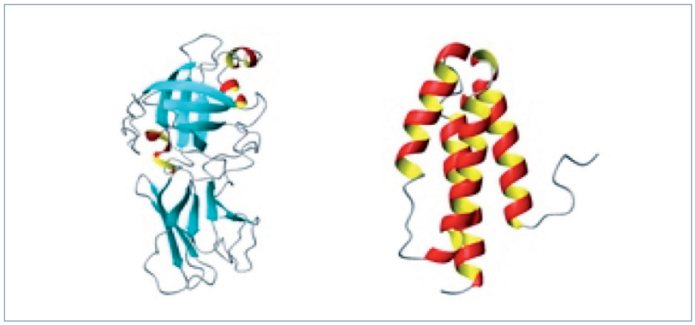


Figura 28. Estructura molecular de Phl p 1 y Phl p 5.
Fuente: http://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=1&allid=374.

4.2. Oleáceas

El olivo es el frutal más cultivado del mundo, y en España se ha triplicado su producción en los últimos 50 años, por lo que se ha convertido en líder mundial tras duplicar al segundo productor, que es Italia **(fig. 29)**.

Figura 29. El olivo y su flor.
Fuente: http://arbolesfrutales.org/todo-lo-que-debes-saber-sobre-el-olivo/.

El predominio es tal que, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el 95% de los olivos del mundo se ubican en el área mediterránea **(fig. 30)**.

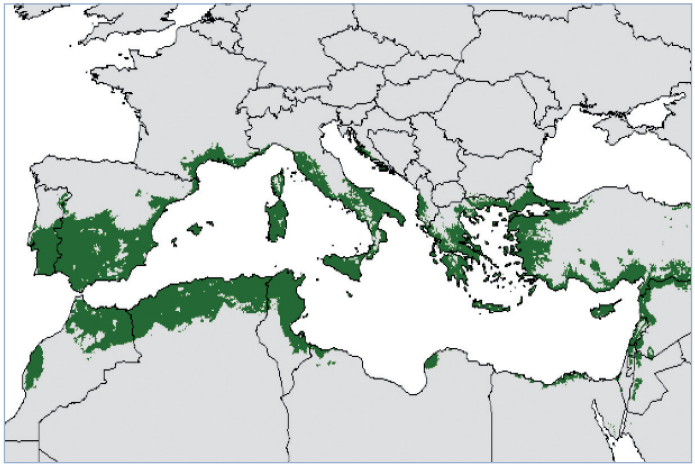


Figura 30. Distribución de los olivares en la cuenca del Mediterráneo[42]. *Fuente: http://www.wikiwand.com/es/Olea_europaea.*

El aceite de oliva español tiene una gran importancia alimenticia y económica por su extraordinaria calidad, se exporta a multitud de países como Japón y Estados Unidos y es reconocido como de los mejores del mundo para uso alimenticio, cosmético, etc.

4.2.1. Aerobiología del polen del olivo

El polen del olivo es ampliamente aerovagante, ya que llega a detectarse incluso a 100 km de distancia en cantidades elevadas (hasta 650 granos/m^3). La polinización del olivo se produce entre finales del mes de abril e inicio de julio **(fig. 31)**.

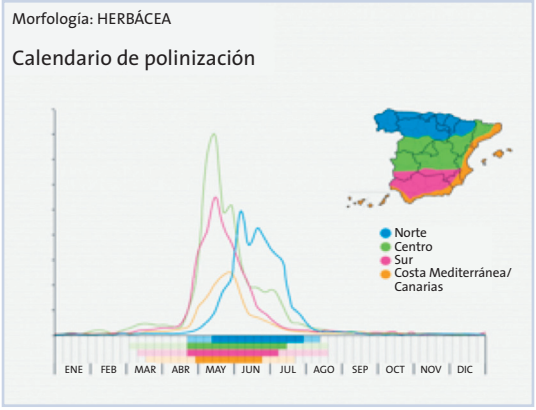


Figura 31. Calendario de polinización del olivo.
Fuente: http://encuentralainspiracion.es/wp-content/uploads/2014.

Es muy variable de año en año, sobre todo en zonas especialmente áridas, donde se ha observado un fenómeno de alternancia entre la producción de polen y las aceitunas, debido a la competencia por los nutrientes del árbol entre los frutos de una temporada y las flores de la siguiente, de forma que a un año de mucha floración y poco fruto, le sigue otro de poca floración y mucho fruto[44]. Aunque diversos factores climáticos pueden modificar esta alternancia, se ha podido establecer un modelo de predicción de producción[43] que ha permitido demostrar que esta será mayor si los niveles de polen y la disponibilidad de agua en primavera y la tempera-

tura en primavera y otoño son elevados, y será menor si hay temperaturas elevadas durante el invierno y el verano. En algunas zonas de Córdoba y Jaén las concentraciones medias diarias pueden superar los 1.000 granos/m^3 de aire y durante más de 30 días las concentraciones diarias superan los 50 granos/m^3. La alergenicidad del polen de olivo es muy alta, lo que lo convierte en uno de los aeroalérgenos más importantes en los países mediterráneos de Europa. En las zonas de alta exposición el porcentaje de sensibilización en los pacientes polínicos suele ser del 30-40%, asociada en un 80% a otros tipos de polen. Dependiendo de la zona y la intensidad de polinización, la cantidad de polen capaz de inducir sintomatología en población alérgica variará mucho. En Jaén[45] el umbral de síntomas ronda los 400 granos/m^3, mientras que en Ciudad Real es de 153 granos/m^3. Esta cifra variará también según el momento de la estación, y al final de la misma es mucho menor (34 granos/m^3), debido a un efecto descrito por Connel[46] en 1968 llamado *priming*, que describe cómo la inflamación alérgica mantenida hace que cantidades de alérgeno cada vez menores tengan efectos clínicos significativos.

Otras especies de oleáceas con interés alergénico son el *Fraxinus excelsior* (fresno) y el *Ligustrum vulgare* (aligustre), frecuente en parques y jardines **(figs. 32 y 33)**.

El fresno presenta una polinización suave a finales de invierno e inicio de la primavera, y puede llegar a provocar sínto-

Figura 32. *Ligustrum vulgare.* **Figura 33.** *Fraxinus excelsior.*
Fuentes: http://www.hogarmania.com/jardineria/fichas/arbustos/200909/aligustre-5098.html y http://www.kew.org/science-conservation/plants-fungi/fraxinus-excelsior-european-ash.

mas en días secos y soleados de febrero (factible en la zona mediterránea) en pacientes muy sensibilizados. El aligustre florece al final de la primavera, y aunque su polen tiene escasa capacidad aerovagante, puede inducir síntomas en su proximidad entre mayo y julio según las zonas, llegando a concentraciones de 98 granos/m^3 de aire cuando el colector se instala entre estos árboles[47]. Sin embargo, en el colector habitual, los picos máximos oscilan entre 2 y 6 granos/m^3 de aire. Es responsable de inducir clínica alérgica después de la polinización del olivo, por el efecto *priming*, prolongando el periodo de afectación en pacientes alérgicos a oleáceas.

El polen del olivo es de carácter trizonocolporado, isopolar, con simetría radial; circular en visión polar; elíptico en visión ecuatorial y prolato-esferoidal. Es de tamaño pequeño o me-

diano (P = 20-27 µm; E = 19-31 µm), con aberturas simples de tipo colpo y membrana apertural psilada. Su superficie es reticulada, con lúmenes irregulares tan anchos o más que los muros y muros verrugosos **(fig. 34)**.

Figura 34. Polen de olivo.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Olea/index.htm

4.2.2. Alérgenos del polen de olivo

La respuesta inmunológica que produce el extracto completo de polen de olivo es muy heterogénea, tanto por la cantidad de componentes alergénicos que posee, como por la importancia relativa de cada uno de ellos y su similitud con otros **(fig. 35)**:

- **Ole e 1:** se comporta como epítopo alergénico en el 62% de los alérgicos.

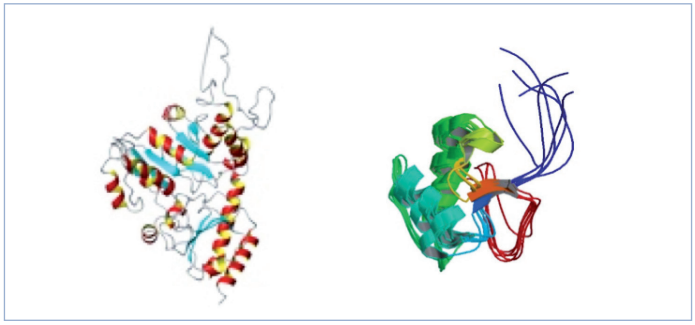


Figura 35. Estructura molecular de Ole e 1 y Ole e 9.
Fuente: https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=452.

- **Ole e 2:** es una profilina que se detecta en el 24% de los casos.
- **Ole e 3:** es una polcalcina que sensibiliza hasta el 50% de alérgicos en poblaciones muy expuestas.
- **Ole e 4:** es una proteína sin homología con otras que sensibiliza el 80% de los casos.
- **Ole e 5**, **Ole e 6** y **Ole e 7** (una LTP): tienen menos capacidad sensibilizante y dependen de la zona de exposición. En concreto, Ole e 7 sensibiliza hasta el 60% de alérgicos a olivo de Jaén.
- **Ole e 8:** es otra polcalcina, muy similar a Jun o 2 de *Juniperus oxicedrus*, y podría contribuir a la presencia de reactividad cruzada entre ambos taxones polínicos.

- **Ole e 9:** sensibiliza el 65% de alérgicos a olivo, y también puede implicarse en la reactividad cruzada con otros alérgenos vegetales como látex y plátano.

4.3. Urticáceas

Son plantas herbáceas de poco más de medio metro de altura. Las hojas son simples, opuestas, enteras y sin pelos urticantes en parietaria y dentadas y con pelos urticantes en el caso de las ortigas. Las flores de parietaria son muy pequeñas, verdoso-rojizas, sin corola, hermafroditas y reunidas en pequeños racimos que nacen de las axilas de las hojas **(fig. 36)**.

Figura 36. Parietaria judaica.
Fuentes: https://alergiaweb.es/2012/05/01/hablemos-de-la-alergia-a-parietaria/ y https://es.wikipedia.org/wiki/Parietaria_judaica.

Se desarrollan en suelos húmedos y algo nitrificados, sobre todo en márgenes de ríos y acequias; también se pueden encontrar colonizando grietas de rocas calcáreas, paredes y

muros de zonas habitadas; su presencia es muy frecuente en el casco antiguo de las ciudades.

Entre el polen de *Urtica* y *Parietaria,* además de la proximidad taxonómica, existe una gran similitud morfológica, por lo que cuando se identifica uno de los dos al microscopio, se habla de polen de urticáceas en general.

4.3.1. Aerobiología de las urticáceas

Las urticáceas presentan una polinización discreta pero bastante prolongada en el tiempo, y muy influida por la geoclimatología, como se puede observar en la figura 37. En el sur, centro y este de la Península florece antes de la primavera y su polen cae rápidamente en los meses del caluroso verano, mientras que en la cornisa cantábrica empieza más tarde y predomina en los meses de los veranos más suaves **(fig. 37)**. Ello influye notablemente en su capacidad sensibilizante, que es más importante entre la población alérgica de la costa mediterránea (25-50%) que en el del centro peninsular (1-6%)[48]. Las concentraciones de polen aerovagante de urticáceas son relativamente bajas y raramente superan los 200 granos/m^3. Sin embargo, su poder alergénico es elevado ya que a partir de 30 granos/m^3 pueden producir sintomatología.

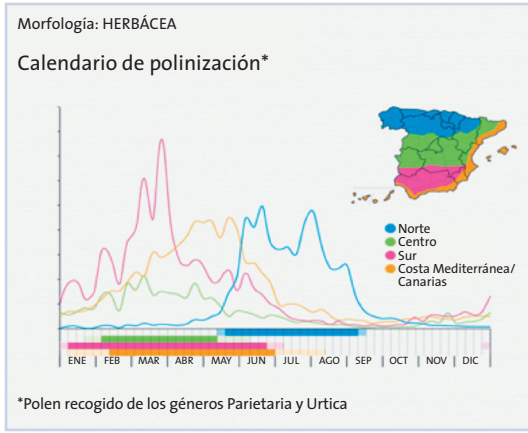


Figura 37. Calendario de polinización de la *Parietaria* en España.
Fuente: http://encuentralainspiracion.es/wp-content/uploads/2014.

4.3.2. Alérgenos del polen de las urticáceas

Urtica y *Parietaria* son muy cercanas taxonómicamente, pero desde el punto de vista molecular comparten pocos epítopos, por lo que prácticamente no hay reactividad cruzada entre ellas, y la *Parietaria* es mucho más alergénica.

Se han descrito nueve alérgenos diferentes para la *Parietaria judaica* y ocho para la *Parietaria officinalis*.

El alérgeno mayor de *P. judaica*, es Par j 1, una glicoproteína de 14,7 kDa, de la familia de las LTP responsable de la mayoría

de la actividad alergénica del extracto completo. Comparte bastante homología con el alérgeno mayoritario de la *P. officinalis*, Par o 1, de 13,5-14,5 kDa, responsable de la elevada reactividad cruzada entre todos los distintos géneros de *Parietaria*.

4.4. Amarantáceas

Son plantas herbáceas perennes cuya especie más profusa en Europa meridional es *Amaranthus retroflexus* (amaranto sanguinario). Se trata de una cizaña anual, de 25 a 75 cm de altura que crece en suelos secos alterados. Entre sus 8.000 especies, *Chenopodium album* y *Salsola kali* son las más relevantes desde el punto de vista clínico y alergénico. *C. album* (quenopodio sayón o armuelle blanco) es de altura muy variable (de 20 a 120 cm) y crece habitualmente sobre escombros en toda Europa **(figs. 38 y 39)**.

Figura 38. *Chenopodium album.* **Figura 39.** *Amaranthus retroflexus.*
Fuentes: https://es.wikipedia.org/wiki/Chenopodium_album y http://www.unavarra.es/herbario/htm/Amar_retr.htm.

Salsola kali (almajo de jaboneros, salicor de la Mancha o capitana) habita en terrenos arenosos de todo el mundo. No alcanza el metro de altura, está muy ramificada desde la base y sus ramas curvadas hacia el tallo le dan un aspecto globoso. Estas son tiernas y de color verde cuando son jóvenes; con la edad presentan nudos coloreados con estrías púrpuras verticales en los entrenudos y un marcado endurecimiento. Las hojas son cilíndricas y presentan un ápice espinoso **(fig. 40).** Ha cobrado gran importancia alergénica en los últimos años y es responsable de inducir clínica en sujetos sensibilizados en los meses de julio y agosto, cuando se producen sus picos de polinización. Esta situación no sucede en los sensibilizados a *C. album*. Otros miembros menos difundidos son *Atriplex* (escama) y la cultivada *Beta* (remolacha).

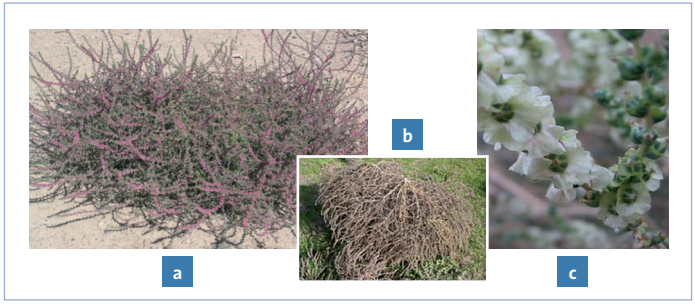


Figura 40. *a) Salsola kali, b)* planta seca, *c)* detalle de la flor.
Fuentes: http://www.malag.aes.oregonstate.edu/wildflowers/images.php/id-595/fullsize-1.
https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Salsola_kali_globosa_al_secar.jpg.
https://es.wikipedia.org/wiki/Salsola_kali.

4.4.1. Aerobiología de las amarantáceas

En lo que respecta a nuestro país, se pueden considerar la tercera causa de polinosis después de las gramíneas y el olivo. Sus concentraciones son casi siempre bajas, pero muy prolongadas entre los meses de marzo y noviembre y presenta dos picos de polinización: uno en abril y otro a finales del verano.

Estudios de impacto clínico demuestran su gran potencial alergénico, ya que a partir de unos 10-15 granos/m^3 las personas alérgicas a este polen inician sintomatología. Quizás por esta razón, aunque en la península Ibérica no exceden del 5% del total de granos recogidos, son causa de polinosis en el 30-40% de alérgicos al polen, sobre todo en la zona sur mediterránea (en la provincia de Alicante es el polen que produce mayor índice de sensibilizaciones), con un impacto notable también en el centro y sur de Aragón y provincia de Toledo **(fig. 41)**.

El polen de las amarantáceas es indistinguible al microscopio óptico y parece una pelota de golf. Es polipantoporado, apolar, con simetría radial, circular y de tamaño mediano (10-30 µm) con aberturas simples muy numerosas que forman círculos concéntricos por toda la superficie del polen **(fig. 42)**.

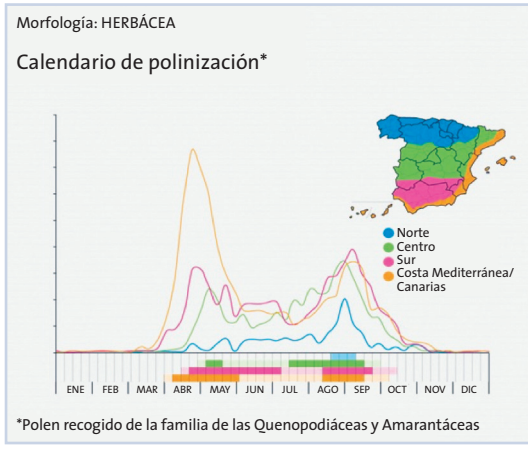


Figura 41. Calendario de la polinización de chenopodiáceas por regiones españolas.
Fuente: http://encuentralainspiracion.es/wp-content/uploads/2014.

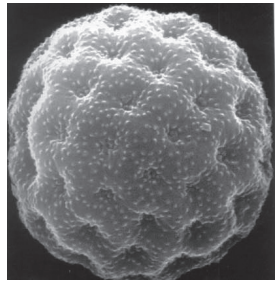


Figura 42. Polen de amarantáceas.
Fuente: http://www.alergiainfantillafe.org/chenopodiaceas.htm.

4.4.2. Alérgenos del polen de las amarantáceas

La alergenicidad de las amarantáceas fue descrita por primera vez en 1993 por Lamsom y Watryn en Arizona. Existe una reactividad cruzada importante entre las dos especies más relevantes de amarantáceas: *Chenopodium album* y *Salsola kali*.

Se han descrito cinco alérgenos de Salsola. Sal k 1 es una pectin-metilesterasa de 43 kDa con al menos seis isoformas, sin aparente homología con otras proteínas descritas.

Che a 1 (antígeno mayoritario del *Chenopodium album*) es una glicoproteína de 18,8 kDa. Che a 2 y 3 comparten homologías con alérgenos de olivo, por lo que se implican en mecanismos de reactividad cruzada con aquel.

4.5. Cupresáceas 'Cupressaceae/Taxaceae'

En este tipo polínico se incluyen las plantas que pertenecen a las familias *Cupressaceae, Taxaceae, Cephalotaxaceae* y *Taxodiaceae*. En nuestro país los taxones cultivados más frecuentes son las diferentes especies de cipreses (*Cupressus sp.*), el híbrido *Cupressocyparis leylandii*, *Thuja orientalis, Calocedrusdecurrens* y *Chamaecyparis lawsoniana*. Las más comunes son las arizónicas, los cipreses, los enebros, las sabinas y las tuyas. Algunas son árboles de paseo (cipreses), setos en los jardines (arizónicas) y otras crecen espontáneamente en laderas secas y soleadas (enebros y sabinas). De las taxo-

diáceas, *Cryptomeria japonica* es la más común. A pesar de la amplia diversidad de especies incluidas en el tipo polínico *Cupressaceae*, la mayoría del polen recogido pertenece al género *Cupressus*. La elevada incidencia atmosférica de este polen en las ciudades se debe a su extendido uso ornamental y le otorga un gran protagonismo en polinosis invernales en países de la cuenca mediterránea[49]. Su peculiar polinización interanual, que abarca desde el otoño a la primavera siguiente, induce síntomas que durante años han sido confundidos con procesos víricos, hecho que añadido a las dificultades en la estandarización de sus extractos, ha llevado a que durante años hubiera un infradiagnóstico por falsos negativos[50], y durante mucho tiempo fuera considerado un polen de alergenicidad media o baja **(figs. 43-45)**.

4.5.1. Aerobiología de las cupresáceas

Constituye el polen más abundante en invierno y se mantiene en el aire con distintos picos hasta finales de mayo según la especie. El polen de las arizónicas y los cipreses está presente desde noviembre/diciembre hasta marzo, y el de los enebros, las sabinas y los tejos, desde febrero hasta mayo. En España se detecta polen atmosférico durante todo el año, aunque con valores muy bajos durante el periodo de julio a octubre. Las concentraciones mayores se producen durante el mes de febrero y con menos frecuencia en enero y marzo. No es raro que algunos años y en algunas estaciones se registren concentraciones altas ya en noviembre y, sobre todo,

Figura 43. Ciprés común. **Figura 44**. Ciprés arizónico. **Figura 45.** Thuja.
Fuentes: http://w110.bcn.cat/portal/site/MediAmbient/menuitem.0d4d062 02ea41e13e9c5e9c5a2ef8a0c/indexa960.html?vgnextoid=5af81cc55c59c310V gnVCM1000001947900aRCRD&vgnextchannel=3cc37037aed1a210VgnVCM1 0000074fea8c0RCRD&vgnextfmt=formatDetall&lang=es_ES, http://fabricadesavia.es.tl/Cupressus-macrocarpa-y-Cupressus-arizonica.htm y http://www.rarexoticseeds.com/en/western-red-cedar-seeds-thuja-plicata.html

en diciembre, coincidiendo siempre con periodos de tiempo seco y soleado. Se ha observado en algunas regiones que los granos de polen se pueden detectar en el polvo de las casas durante prácticamente todo el año, y además sin verse alterada su potencia alergénica, lo que sugiere que su exposición puede exceder a su ya peculiar estación polínica[51].

Las concentraciones atmosféricas capaces de inducir síntomas oscilan entre los 20 y los 100 granos/m^3 en pacientes muy sensibilizados y por encima de los 100 granos de polen/m^3 en la mayoría de los pacientes[52]. Un hecho muy peculiar[53]

es que la máxima intensidad de los síntomas en los alérgicos a este polen aparece entre las 24 y las 48 horas después de la exposición al mismo.

En las localidades donde abunda el polen de cupresáceas pueden superarse los 100 granos de polen/m^3 entre 15 y 45 días, dependiendo de los años. Se han desarrollado modelos matemáticos que establecen una correlación entre los recuentos anuales de polen de cupresáceas y la prevalencia de su sensibilización. Los niveles de polen son muy variables interanualmente y entre unas ciudades y otras **(fig. 46)**. Esto tiene su reflejo en la existencia de unas bajas tasas de sensi-

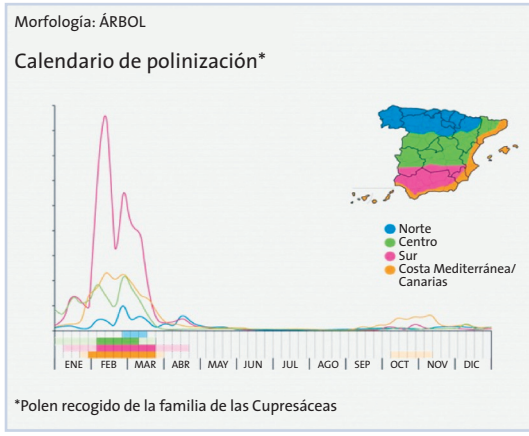


Figura 46. Calendario de polinización de las cupresáceas por regiones españolas. Fuente: http://encuentralainspiracion.es/wp-content/uploads/2014.

bilización (del 1%) en ciudades como Zaragoza y Vigo frente a las muy elevadas en el sur de Castilla-La Mancha y Extremadura y en el interior de Andalucía (el 35% de Córdoba), con un gradiente descendente hacia el norte.

El polen de las cupresáceas es de forma esferoidal, de tamaño pequeño a mediano (20-36 µm), inaperturado, de exina fina (1-2 µm de espesor), que se rompe con frecuencia. Su intina gruesa y gelatinosa frecuentemente se separa de la exina cuando esta se rompe **(fig. 47)**.

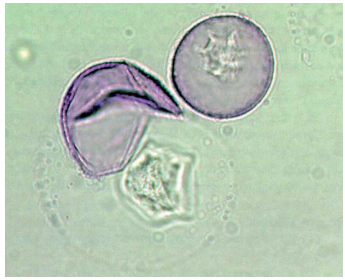


Figura 47. Grano de polen de ciprés.
Fuente: http://www.alergiainfantillafe.org/cupresaceas.htm

4.5.2. Alérgenos del polen de las cupresáceas

Los alérgenos mayores de las distintas cupresáceas son proteínas de la familia de las pectato liasas (Cup s 1, Cup a 1, Jun o 1) de unos 43 kDa, entre los que existe una importante

reactividad cruzada. La mayoría contienen residuos glucosídicos, con capacidad de unión a lectinas. En 2011 se detectó un alérgeno[54] de 15-kDa que pertenece al grupo similar a LTP (LTP-*like*), presente en personas alérgicas a Pru p 3 **(fig. 48)**.

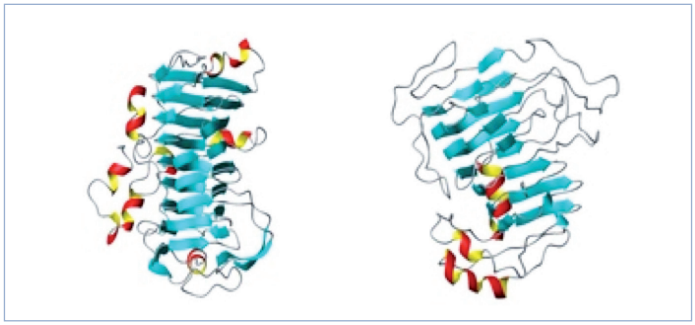


Figura 48. Estructura molecular de Cup a 1 y Cup s 1.
Fuente: https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=68

4.6. 'Platanus' ('Platanaeae')

Al tipo polínico *Platanus* pertenecen los granos de polen producidos por las seis o siete especies de grandes árboles caducifolios de un género que pueden alcanzar más de 30 metros de altura y que viven en zonas de clima templado del hemisferio norte. En nuestras ciudades, la especie más abundante es *Platanus hispánica,* plátano de paseo o plátano de sombra, profusamente cultivado en parques y jardines y que forma alineaciones en paseos y carreteras. Su perfil taxonómico no está aclarado; en la mayoría de los casos recibe el nombre de

Platnnus hybrida, (híbrido entre *P. occidentalis y P. orientalis*). No se conoce en estado espontáneo, pero puede aparecer silvestre en sotos y riberas y sobre suelos frescos y fértiles. Contiene flores de ambos sexos agrupadas en inflorescencias esféricas, pendientes de largo pedúnculos **(fig. 49)**.

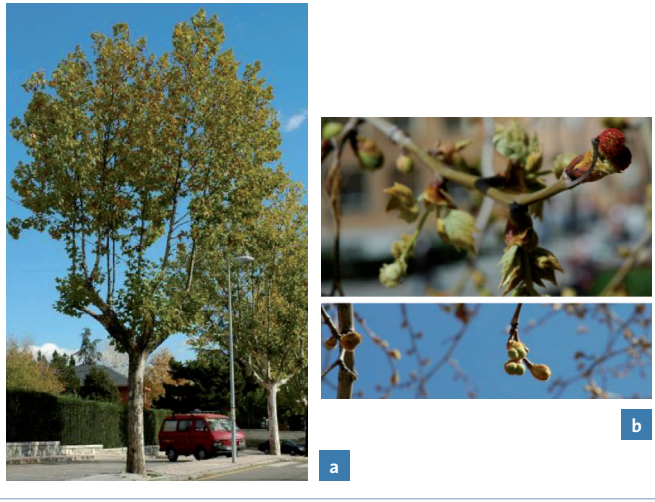


Figura 49. *a) Platanus, b)* detalle la flor de *Platanus*.
Fuente: http://plantinfo.co.za/plant/platanus-x-acerifolia/.

Los granos de polen son subachatados, isopolares, trizonocolpados y miden de 15 a 20 µm **(fig. 50)**.

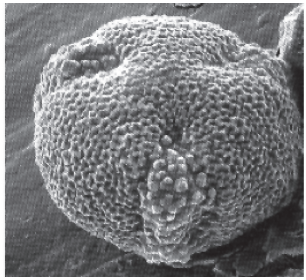


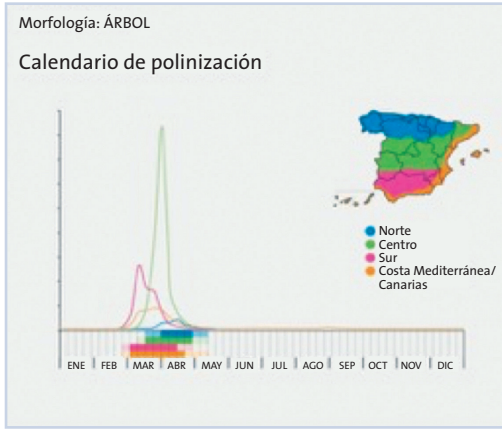
Figura 50. Polen de *Platanus*.
Fuente: https://www.uco.es/rea/part-alergogenas/platanus.htm

4.6.1. Aerobiología de 'Platanus'

El polen del plátano está presente en la atmósfera de toda España durante un periodo de tiempo muy corto que comprende el mes de marzo y la primera quincena de abril. Generalmente, el pico se registra a los dos o tres días de su aparición y, en muchas ocasiones, se superan los 1.000 granos de polen/m^3 de aire y con unas concentraciones medias diarias potencialmente muy elevadas, aunque no suele haber más de 10 días al año con concentraciones superiores a 100 granos/m^3. Algunos años puede hacer acto de presencia en los últimos días de febrero, y en ciudades como Barcelona se puede prolongar hasta mayo, junio e incluso más. Ciertos pacientes refieren síntomas durante los meses de septiembre y octubre, por la reflotación del polen que queda adherido a las hojas que se desprenden en el momento de la caída

de las mismas[55]. La información aerobiológica nacional y regional establece grandes diferencias en la incidencia de este tipo polínico, y es mayoritario en ciudades como Barcelona, Madrid y Sevilla, mientras que en Almería, Cartagena, Cádiz, Málaga y Oviedo las cantidades son comparativamente bajas **(fig. 51).**

De acuerdo con su peculiar aerobiología, los datos de sensibilización son también muy dispares. En Toledo no es un sensibilizante importante. Sin embargo, en Barcelona y Zaragoza lo hace en un 50% de polínicos. Su creciente implantación en parques, jardines, carreteras y calles de ciudades y pueblos europeos ha contribuido a un aumento en su prevalencia de sensibilización del 2% al 52% desde la década de 1980 en la ciudad de Madrid[53].



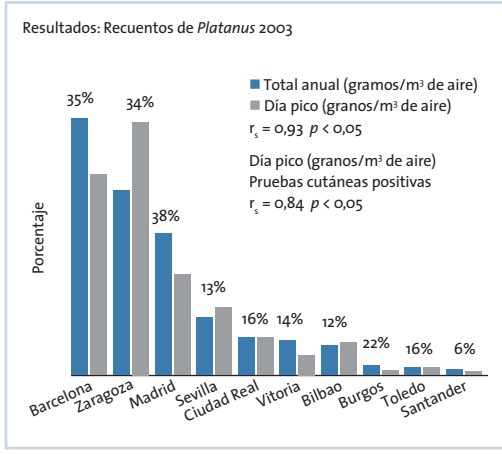


Figura 51. Calendario de polinización de *Platanus* en España. *Fuente http://encuentralainspiracion.es/wp-content/uploads/2014.*

4.6.2. Alérgenos del polen de 'Platanus'

Este tipo polínico ha sido considerado por numerosos autores moderadamente alergénico. Pla a 1 es el alérgeno mayoritario del plátano, una proteína inhibidora de la invertasa de 18 kDa, cuya presencia atmosférica ha sido demostrada incluso tras la desaparición de los granos de polen, lo que puede extender los periodos de inducción de sintomatología en sujetos sensibilizados[56].

Pla a 3 es una LTP que justifica la existencia de una reactividad cruzada en personas alérgicas también a alimentos vegetales como avellana, cacahuete, apio, plátano y melocotón **(fig. 52)**.

Figura 52. Estructura de Pla a 1.
Fuente:https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=76.

5

PÓLENES DE MENOR IMPORTANCIA ALERGÉNICA EN ESPAÑA

5. PÓLENES DE MENOR IMPORTANCIA ALERGÉNICA EN ESPAÑA

5.1. 'Betulaceae'

Predominan *Betula* (abedul), *Alnus glutinosa* (aliso) y *Corylus* (avellano).

El **abedul** es uno de los árboles caducos más característicos de la Europa septentrional, noroccidental y central y un elemento típico tanto del paisaje como de los medios urbanos. Puede crecer hasta una altura de 30 metros, preferiblemente en suelos ácidos, húmedos y fríos, como bordes de ríos, arroyos y torrenteras, trampales y laderas húmedas de zonas montañosas de entre 1.000 y 2.000 metros de altitud y es muy numeroso en los países nórdicos, donde puede formar grandes bosques. Las dos especies más corrientes son *Betula*

verrucosa (B. pendula) y *B. pubescens*, aunque también existen numerosos híbridos **(fig. 53)**.

Figura 53. Abedul.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Betula/index.htm.

5.1.1. Aerobiología de 'Betula'

La alergenicidad del polen del abedul es alta, ya que concentraciones superiores a los 30 granos/m^3 pueden provocar síntomas y por encima de 80 granos/m^3 el 90% de las per-

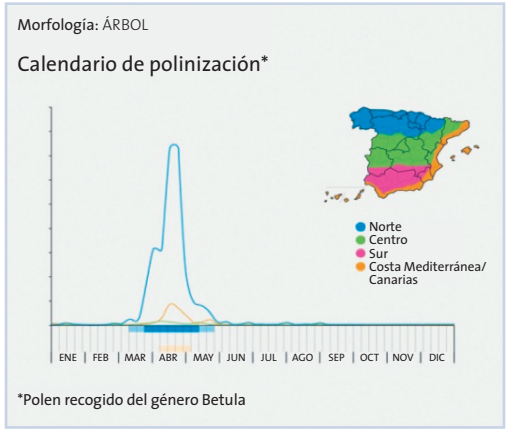
sonas alérgicas a este polen presentan sintomatología importante[57]. Se considera la principal causa de polinosis en las regiones del norte y del centro de Europa, y en España solo tiene interés como aeroalérgeno en Galicia y la franja norte peninsular, polinizando entre marzo y abril, con días pico que no superan los 150 granos/m^3 de aire, muy interferidos por la pluviosidad estacional[58]. El abedul causa polinosis en entre el 10% y el 20% de la población del centro y norte de España, cifras inferiores al resto de Europa **(fig. 54)**.

El polen del abedul es de achatado a esferoidal, isopolar, trizonoporado, con cúpulas prominentes en torno a las aberturas, poros vestibulares sobresalientes y mide de 20 µm a 25 µm **(figs. 55 y 56)**.

Los alérgenos del abedul (Bet v 1 y Bet v 2) son compartidos con multitud de alimentos vegetales y frutas, dando lugar a la presencia de una frecuente asociación entre la alergia a este polen y frutas como las manzanas.

De forma similar al plátano, se ha observado que los periodos de presencia de Bet v 1 y de granos de polen de abedul tampoco son necesariamente coincidentes[59].

El **avellano** es un árbol predominante en el centro y norte de Europa, con asentamiento en zonas montañosas y en la mitad norte de la costa mediterránea; su polinización se produce entre los meses de enero y abril **(fig. 57)**.



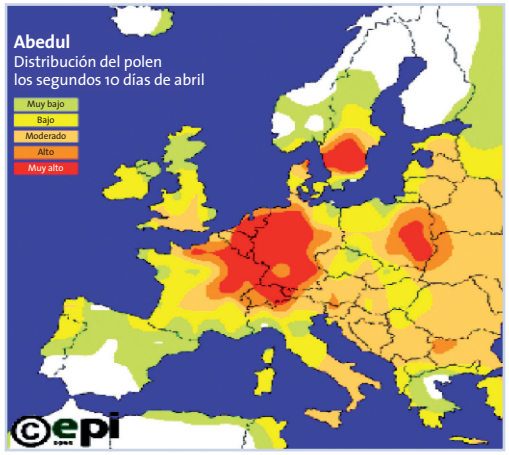


Figura 54. Calendario de polinización del abedul en España y Europa.
Fuente: http://encuentralainspiracion.es/wp-content/uploads/2014.

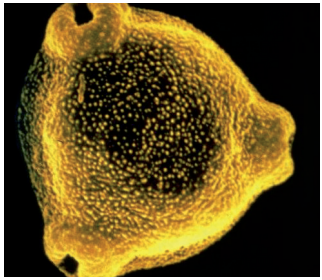
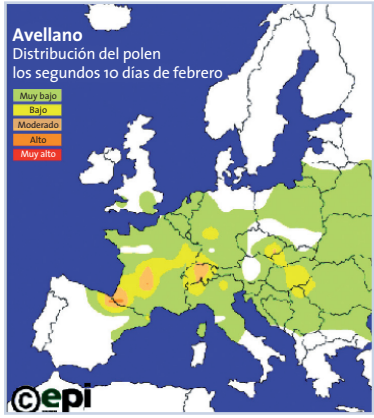


Figura 55. Polen de abedul.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Betula/index.htm.

Figura 56. Estructura molecular de Bet v 1.
Fuente: https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=41.



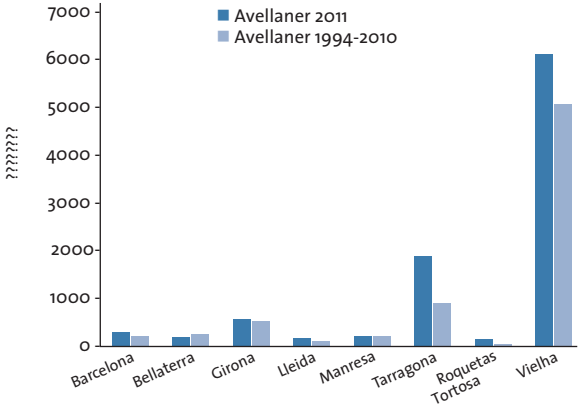


Figura 57. Flor de avellano y distribución en Europa y zonas de Cataluña. *Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Corylus/index.htm.*

El **aliso** es un árbol de hasta 15 m de copa amplia, tronco derecho y corteza agrietada longitudinalmente. La floración tiene lugar desde finales del invierno hasta comienzos de la primavera, aunque en ocasiones se inicia a mediados de diciembre en regiones de Europa Central. El polen de aliso es claramente alergénico, con un alto grado de alergenicidad cruzada con abedul. Sin embargo, debido a su precoz floración en un momento en que la mayoría de las personas permanecen en el interior de las viviendas, suele inducir sintomatología durante pocos días y en presencia de concentraciones aerotransportadas extremadamente altas.

5.2. 'Astereaceae'

Las asteráceas (*Asteraceae*), también llamadas compuestas, reúnen más de 23.500 especies repartidas en unos 1.600 géneros, que forman la familia de angiospermas de mayor riqueza y diversidad biológica. Son muy ubicuas y predominan en zonas tropicales y subtropicales de escaso arbolado.

Los géneros más importantes de polinización anemófila son *Ambrosia*, *Artemisia y Helianthus*. *Artemisia* alcanza sus máximos niveles en los meses de septiembre a diciembre. *Helianthus* o girasol produce únicamente polinosis en áreas de cultivo intensivo, ya que aunque su polen es anemófilo, se libera en escasa cantidad. Predomina en áreas de la costa mediterránea, Aragón y zona centro (Toledo).

Algunas especies como el *Solidago*, *Taraxacum*, *Crisantemo*, *Centaurea*, *Cichorium*, *Senecio* y *Helianthus,* a pesar de ser anemófilas, liberan polen también solo ocasionalmente. La *Ambrosia* es muy importante en Estados Unidos, pero en España su presencia es prácticamente anecdótica.

Los alérgicos al polen de esta familia, además de sufrir alergia respiratoria, pueden presentar reacciones con alimentos como el síndrome artemisa-apio-zanahoria-especies, así como síntomas orales (picor, hinchazón de labios o lengua, etc.) o digestivos tras la ingesta de apio, zanahoria y ciertas especies. También se describen asociaciones con mostaza, judía verde, patata, legumbres, avellana y kiwi.

La **artemisia** (*Artemisia vulgaris*) es la compuesta más importante en nuestro medio, muy abundante en bordes de caminos, terrenos no cultivados, barrancos, orillas de arroyos, etc. La concentración máxima de polen de artemisia se alcanza durante los meses de septiembre a diciembre, aunque rara vez se alcanzan picos por encima de 50 granos/m^3 como media diaria. Las regiones españolas con más concentración de estos pólenes son las situadas en el Mediterráneo, en Aragón y la zona centro (Toledo). Existe un patrón diario en la concentración que muestra un predominio atmosférico entre las seis y las doce de la mañana[60]. El polen de artemisia es esferoidal, de unos 18-24 µm de diámetro, con aspecto de tres medias lunas y de superficie finamente granulada. En España se ha descrito una prevalencia de sensibilización a

Figura 58. *Artemisia vulgaris* y su polen.
Fuente: http://www.alergiainfantillafe.org/compuestas.htm.

esta planta del 9-38%, superior a otros países europeos, donde se manejan cifras inferiores al 10%[61] **(fig. 58)**.

5.3. Alérgenos del polen de artemisia

- **Art v 1** es el más importante. Pertenece a la familia de las defensinas y sensibiliza al 95% de alérgicos a esta planta.
- **Art v 2** es una glicoproteína de 34-38 kDa del grupo de las proteínas relacionadas con la patogénesis PR-1.
- **Art v 3** es una LTP causante de reactividad cruzada con castaña y frutas rosáceas.

- **Art v 4** es una profilina cuyas dos isoformas inducen fenómenos de reactividad cruzada.
- **Art v 5** es una polcalcina responsable también de fenómenos de reactividad cruzada.
- **Art v 6** es una pectato liasa que presenta homologías con Amb a 1.

El *Taraxacum Officinale* (diente de león) es una planta perenne, que florece y poliniza de primavera a otoño. Lanza un polen de tamaño mediano (32-37 µm de diámetro), fenestrado, con superficie espiculada y muy característico **(fig. 59)**.

Figura 59. *Taraxacum Officinale* y su polen.
Fuente: http://www.alergiainfantillafe.org/compuestas.htm.

Ambrosia es uno de los pólenes alergénicos más importantes en Estados Unidos. En Europa es un polen importado y aunque inicialmente se localizaba únicamente en los países del Este, en los últimos años se ha convertido en una causa importante de polinosis no solo en Hungría y Austria, sino también en el norte de Italia y Francia **(fig. 60)**.

Figura 60. *Ambrosia.*
Fuente: http://alergiayasma.es/el-alergeno-del-mes-el-polen-de-ambrosia/.

5.4. 'Plantaginaceae'

Los *Plantagos* o llantenes son plantas herbáceas anuales o perennes, de flores hermafroditas que se sitúan al final de largos tallos sin hojas y sin ramificar. En la península Ibérica

se pueden encontrar alrededor de 50 especies distintas. Las más importantes son *P. major*, *P. media* y *P. lagopus* distribuidas de forma bastante uniforme, creciendo en suelos nitrófilos, pastizales, cultivos abandonados, bordes de los caminos, etc. Polinizan entre abril y julio, alcanzando concentraciones de 5 a 15 granos/m^3 como media diaria y de 50 granos/m^3 en días pico de mayo y junio. Su polen de tamaño de pequeño a mediano (19-35 µm) es pantoporado, apolar, con simetría radial y esferoidal **(fig. 61)**.

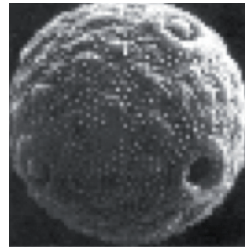


Figura 61. *Plantago lanceolata* y su polen.
Fuentes: http://www.natursan.net/plantago-propiedades-y-beneficios/ y http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Plantago/index.htm.

La sensibilización a *Plantago* es predominante entre personas afectadas de polinosis (25-75%) pero hay muy pocos monosensibilizados. Además, sucede que su polen aparece en la atmósfera simultáneamente con el de las gramíneas y es muy sugestivo que haya una importante reactividad cruzada entre ambas plantas, al parecer dependiente del grupo 5 de los alérgenos de gramíneas. O sea, su importancia clínica es dudosa, desde el punto de vista alergológico. Pla l 1 es su alérgeno mayoritario, homólogo de Ole e 1.

5.5. 'Euphorbiaceae'

Familia formada por más de 300 géneros y 7.500 especies, algunas de gran interés económico, como la *Hevea Brasiliensis* (fuente de látex y caucho), *Manihot Suculenta* (mandioca o tapioca), *Ricinus communis* (utilizado como planta medicinal), *Euphorbia pulcherrima* (Poinsettia o flor de pascua), etc. En España crecen siete géneros, entre los que predominan *Euphorbia* (flor de pascua), *Mercurialis* y *Ricinus*.

Producen con frecuencia alergia, el polen de *Mercurialis* y, en menor medida, el de ricino con una prevalencia de sensibilización del 8,5% y del 7,7%, respectivamente, mostrando una importante tasa de reactividad cruzada entre sí y con otros pólenes no relacionados taxonómicamente como *Gramíneas*, *Olea* y *Parietaria*.

Mercurialis (*Mercurialis annua*) es una hierba que puede alcanzar los 40 cm de altura, frecuente tanto en el entorno urbano como rural, y está ampliamente distribuida por toda la Península, principalmente en la mitad norte, aunque alcanza localidades aisladas del sur de Andalucía y Baleares. Poliniza de octubre a mayo (al contrario de la mayoría), de ahí que los pacientes suelan presentar síntomas fuera de la estación primaveral. Su polen tiene forma esferoidal elíptica, es de tamaño pequeño y mediano (22-30 x 19-27 µm de diámetro), de superficie reticulada fina y con tres poros **(fig. 62)**.

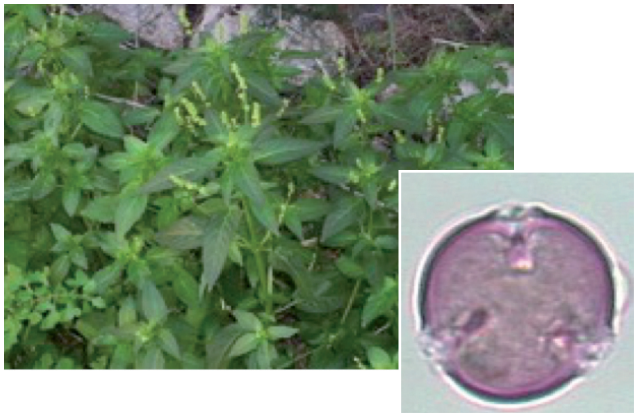


Figura 62. *Mercurialis annua* y su polen.
Fuente: http://www.plantasyhongos.es/herbarium/htm/Mercurialis_annua.htm.

El **ricino** (*Ricinus communis*), introducido desde África tropical, es una especie ornamental y de cultivo de la que se obtiene el aceite de ricino (purgante y cosmético). Es un arbusto bastante robusto, de 1 a 4 m de altura, con grandes hojas palmadas (10-35 y hasta 60 cm de diámetro) y notables inflorescencias que agrupan las flores masculinas en la base y las femeninas en la parte superior. El fruto es una cápsula (tricoca) erizada de pelos espinosos con tres lóbulos. La disposición de las flores hace posible que su polen sea arrastrado por el viento.

El polen del ricino es esferoidal, mediano (23-28 µm) y tricolporado, con colpos largos y cerrados **(fig. 63)**.

5.6. 'Poligonaceae'

El género más importante es el *Rumex* o acedera. Las especies de *Rumex* son frecuentes en pedregales, laderas y ribazos y aparecen como malas hierbas de cultivo en prados, fisuras de rocas y, en general, en medios húmedos y alterados. Su alergenicidad es una incógnita, ya que aunque sensibiliza a entre el 1% y el 30% de la población, según estudios, su polinización de abril a junio se superpone con la de las gramíneas y el olivo **(fig. 64)**.

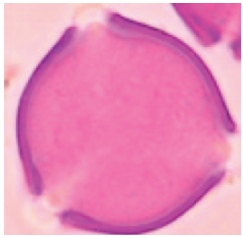
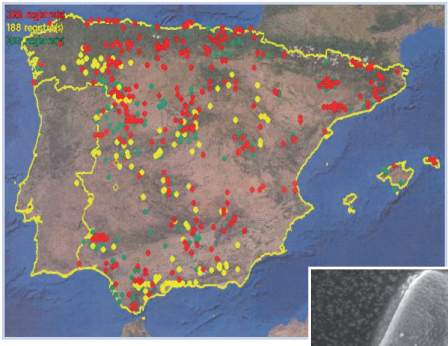


Figura 63. *Ricinus communis* y su polen.
Fuente: http://www.pfaf.org/user/Plant.aspx?LatinName=Ricinus+communis. https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ad/Pollen_Ricinus_communis_sanguineus.jpg.

El polen de *Rumex* tiene un periodo de baja y prolongada presencia atmosférica, entre febrero y septiembre. Los totales anuales raramente superan los 1.000 granos de polen, a excepción de Extremadura, donde se registran las cantidades más elevadas de todo el país. Aunque el periodo de presencia atmosférica es largo, la época de mayor incidencia se extiende de finales de marzo a primeros de junio y julio y agosto en el norte. La mayoría de los días las concentraciones medias diarias son inferiores a 10 granos/m^3.



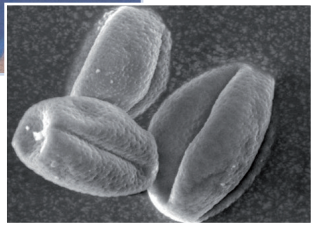


Figura 64. *Rumex*, mapa de influencia atmosférica y fotografía electrónica de su polen.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Rumex/index.htm.

5.7. 'Pinaceae'

Los 12 géneros de pináceas existentes constituyen las coníferas de mayor importancia forestal y económica del mundo, tanto por su dominancia en los bosques de las zonas templadas del hemisferio norte y zonas montañosas de ambos hemisferios, como por el valor de su madera, su resina y por ser árboles ornamentales. En los territorios que ocupan marcan los límites latitudinales y altitudinales de la vegetación arbolada.

Pinos, abetos, cedros, alerces, etc. son frecuentes en los parques y jardines de nuestros pueblos y ciudades.

Las especies de pináceas más frecuentes en nuestro país son *Abies alba* (abeto blanco), *Abies pinsapo* (pinsapo), *Cedrus atlantica* (cedro, cedro del Atlas), *Picea abies* (abeto rojo, árbol de navidad) y *Pinus halepensis* (pino carrasco, pino de Alepo) **(fig. 65)**.

Son plantas productoras de grandes cantidades de un característico polen que posee unas vesículas aeríferas o flotadores (un cono masculino de *P. sylvestris* produce 16 x 104 granos de polen) que sedimentan a una velocidad de 3 cm por segundo[62]. Por su tamaño y rápida sedimentación, durante la floración puede observarse como surgen nubes de polen de los pinares y como las superficies próximas aparecen cubiertas de una capa de un polvo amarillo.

Figura 65. *Pinus halepensis* (pino carrasco, pino de Alepo) y su distribución en España.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Pinaceae/.

5.6.1. Aerobiología de 'pinaceae'

Polinizan entre los meses de marzo y julio con unas cifras totales muy variables según localidades dentro de la misma región geográfica, sucediéndose y superponiéndose los periodos de floración de los diferentes taxones, hecho que suele reflejarse en las gráficas por la presencia de varios picos a lo largo de la estación polínica.

El polen del pino es de morfología heteropolar, con simetría bilateral, presenta un cuerpo central (*corpus*) oblato u oblato esferoidal, elíptico o circular con dos vesículas aeríferas laterales (*sacci*) **(fig. 66)**. Es de tamaño grande en el pino (60-100 µm) y el cedro (80-110 µm); muy grande en el abies (100-170 µm) y la picea (100-140 µm). Los abetos y las diferentes especies de pinos florecen de marzo a julio. Los cedros florecen de septiembre a noviembre.

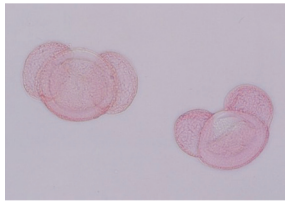


Figura 66. Polen de *Pinus halepensis.*
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Pinaceae/.

Pese a su abundancia y aerovagancia, el polen de las pináceas ha sido considerado de bajo poder alergénico por su gran tamaño y escasa penetrancia en el tracto respiratorio, su naturaleza hidrofóbica y el bajo contenido en proteínas. Sin embargo, en zonas donde son abundantes, se han detectado casos de sensibilización a *P. radiata, P. sylvestris* y *P. strobus* capaces de inducir sintomatología[63].

5.8. 'Palmaceae'

Los géneros más comunes son *Phoenix dactylifera* (palmera datilera) y *Phoenix canariensis* (palmera canaria). El polen de *Phoenix dactylifera* es monosulcado y de pequeño tamaño, por lo que es aerovagante **(fig. 67)**.

Palmaceae poliniza entre los meses de marzo y mayo y en distintas fases según los taxones, y es abril el mes de mayor actividad. En nuestro país es relevante en la ciudad de Elche, poseedora del palmeral más extenso de Europa, donde sensibiliza al 8,5% de los polínicos y, aunque se ha descrito una tasa de monosensibles de hasta el 9%, lo más probable es que esta positividad sea debida a la existencia de panalérgenos aún no identificados, que inducen positividades por un mecanismo de reactividad cruzada.

Figura 67. *Phoenix canariensis. Phoenix dactylifera.* Polen de *Phoenix dactylifera. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Phoenix_canariensis. http://www.photos-photography-pictures.com/photo/date-palm-flowering-phoenix-dactylifera.html.*

5.9. 'Vitaceae'

España cuenta con casi 1,2 millones de hectáreas de viñedos y es el país con la mayor superficie cultivada del mundo (15% del total). Comparte con Italia y Francia los primeros puestos en producción, con un récord en la campaña 2013-2014 que fue el primer productor mundial de vino **(tabla 8).**

Semejantes cifras de cultivo no están en consonancia con su poder alergénico, y el interés alergológico del polen de

Tabla 8. Producción de vino en todo el mundo				
Cifras en millones de hectolitros	**2012**	**2013**	**Incr. 12-13**	**Fuente**
España	35,78	50,58	41,4 %	Magrama 28 ene 14
Italia	41,07	47,40	15,4 %	Agreste Conjonture 5 nov 13
Francia	41,37	42,34	2,4 %	Assoenologi 15 nov 13

Fuente: http://www.libremercado.com /2014-02-04/espana-se-convierte-en-el-primer-productor-mundial-de-vino-1276509811.

la vid es pobre, ya que sensibiliza a pocos alérgicos (el 4,5% de polínicos en Castilla-La Mancha). Esto se debe a que su polinización es autógama (en el mismo individuo), escueta y solapada con las de las gramíneas. Los anecdóticos casos de monosensibilización se han descrito solo en profesionales y sujetos que viven en zonas de elevada actividad vitivinícola. El polen de vid es de morfología subesferoidal y alargada: 0,94-1,19 µm x 23,0-27,5 µm **(fig. 68)**.

Figura 68. Flor de la vid y su polen.
Fuente: http://jgarc16.blogspot.com.es/2013/06/la-flor-de-la-vid.html.

5.10. 'Fagaceae'

Los representantes de interés alergológico de esta familia son los castaños y las encinas.

El **castaño** es un árbol robusto, caducifolio, de hasta 20-30 m de altura, originario del Mediterráneo oriental y que fue introducido en la Península hace más de 10.000 años. Es frecuente en áreas de Extremadura y el norte peninsular, donde se aprovecha su madera y sus frutos, las castañas. Los castaños florecen en verano y son árboles de polinización mixta:

entomófila al comienzo de la época de floración y anemófila después.

Producen una gran cantidad de polen desde finales de abril hasta septiembre, con picos de incidencia sobre todo en la mitad norte de España entre los meses de junio y julio y con escasa presencia en la mitad sur peninsular (valores medios anuales inferiores a 100 granos/m^3). Su polen pesado y pegajoso es de aspecto isopolar, radiosimétrico, elíptico en vista ecuatorial y trilobulado en vista polar. Es de tamaño pequeño, de 14-16 µm de largo por 9-12 µm de ancho con tres aberturas compuestas de colpo (ectoaberturas) y poro (endoabertura) en la zona ecuatorial de 1-2 µm de espesor. Su relieve es rugulado **(fig. 69)**.

Las **encinas** son árboles, más raramente arbustos, caducifolios (*Quercus robur*), semicaducifolios (*Quercus pyrenaica*) o perennifolios.

La encina (*Quercus ilex*) es el árbol mediterráneo español por excelencia. Habita desde a nivel del mar hasta en los páramos, y puede llegar hasta los 1.500 m de altitud. Forma encinares y carrascales que aguantan bien la sequía. Es de polinización anemófila y de elevada producción polínica, variable según la especie entre 19.000 y 1.300.000 granos de polen por flor. Su polen es isopolar de simetría radial, oblato-esferoidal (*Q. rotundifolia*) y subprolado (*Q. pyrenaica*) en vista ecuatorial, trilobulado de 22 a 30 µm en *Q. rotundifolia* y mayor de 30 a

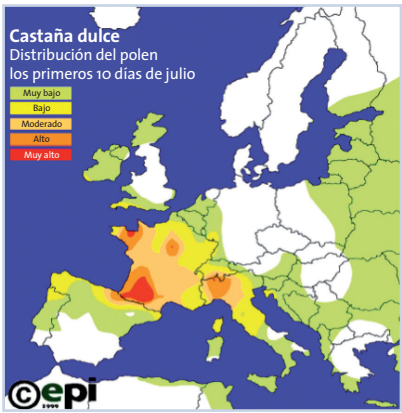
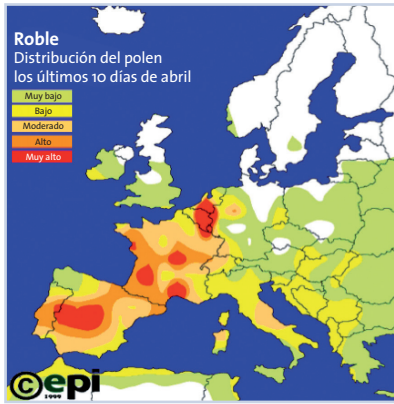


Figura 69. Inflorescencias del castaño, distribución atmosférica de su polen y aspecto.
Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Castanea/index.htm.

40 µm en *Q. pyrenaica* con tres aberturas compuestas de colpo y poro en la zona ecuatorial del polen. Presenta, además, un relieve supratectal irregularmente verrucoso. El polen de la encina está presente en la atmósfera de toda España de marzo a julio, con picos máximos en marzo, abril o finales de mayo y primeros de junio. Se trata, por tanto, de un tipo polínico cuantitativamente importante, con un periodo de presencia atmosférica relativamente largo, con niveles diarios superiores a 100 granos/m^3 **(fig. 70)**. Sin embargo, las bajas cifras de sensibilización a fagáceas (v. gr. *Castanea,* con el 7,1% de población alérgica en Extremadura[64]) demuestran que es un polen poco alergénico.



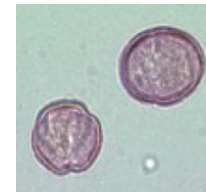


Figura 70. Encinas, distribución atmosférica de su polen y aspecto. Fuente: http://alcoy.san.gva.es/alercoy/fichas/Quercus/index.htm.

5.11. Resumen

En España los pólenes alergénicos más importantes en función del periodo del año y las zonas geográficas son:

a) Finales de otoño e invierno (de noviembre a marzo):

En invierno, el polen alergénico más importante es el de cupresáceas, sobre todo en los meses de febrero y marzo especialmente en Madrid, Toledo y Barcelona.

El abedul predomina en Galicia y el plátano entre finales de invierno e inicio de la primavera en Madrid, Barcelona y Zaragoza.

b) Primavera y principios del verano (de abril a julio):

Platanus, Fagaceae, Oleaceae, Poaceae, Urticaceae y *Plantaginaceae (Plantago spp*).

En la segunda quincena de marzo y/o la primera de abril se produce una brusca eclosión de niveles de polen atmosférico de plátano de sombra. El mes de mayo suele ser el de mayor riesgo para los alérgicos al polen en general, pues coinciden los tipos polínicos más alergénicos, tales como gramíneas, olivo y urticáceas.

Poaceae o *Gramineae* (gramíneas): son la causa más importante de polinosis epidémica en España.

Oleaceae predomina en el sur de la Península y *Urticaceae* en el este de la misma.

c) Verano y principios de otoño (de agosto a octubre):

A partir de junio o julio dependiendo de las regiones y de la meteorología, descienden bruscamente los niveles atmosféricos de polen hasta el otoño, época en la que hace su aparición el polen de *Amaranthaceae* y *Artemisia,* que nunca alcanzan concentraciones muy elevadas.

Chenopodiaceae-Amaranthaceae predominan en Alicante y Aragón y *Urticaceae* y *Compositae (Artemisia spp*) en el este de la Península.

Pólenes con una importancia menor, aunque en determinadas localidades pueden ser importantes son *Ricinus* y *Casuarina* (Málaga), *Mercurialis* (Cataluña, Málaga, Elche), *Palmaceae* (Elche), *Pinus* (País Vasco) y *Artemisia* (Murcia).

6

POLINOSIS PROFESIONAL Y POR CONTACTO ÍNTIMO

6. POLINOSIS PROFESIONAL Y POR CONTACTO ÍNTIMO

Se produce cuando la exposición al polen es muy estrecha por razones de hábitat de residencia o profesión, hecho que va a condicionar una expresión clínica diferente en función del tipo de actividad y planta. En España destacan: azafrán, girasol y diplotaxis.

6.1. Azafrán o 'Crocus sativus'

En nuestro país el cultivo del azafrán es característico de la zona norte de la provincia de Albacete. Se trata de una herbácea perenne cuya flor conocida como rosa del azafrán, está formada por pétalos de color lila, estambres amarillos y estigmas rojos. Su polinización es entomófila y muy corta, entre tres días y una semana. Sin embargo, tiene cierto poder alergénico, ya que es capaz de sensibilizar hasta al 6% de los

recolectores que se exponen íntimamente al polen cuando desbriznan la flor y extraen sus estigmas (la monda de la rosa) vulgarmente llamados hebras **(fig. 71)**.

Figura 71. Flor de azafrán y sus estigmas o hebras.
Fuente: http://blog.interflora.es/la-flor-del-azafran-la-reina-del-otono-2/.

6.2. Girasol o 'Helianthus annuus'

El girasol es una herbácea anual de la familia de las asteráceas originaria de América y cultivada como planta alimenticia, oleaginosa y ornamental en todo el mundo.

El girasol es causa de asma, rinitis y conjuntivitis alérgica ocupacional en las zonas de cultivo donde se contacta con el pesado polen que impregna la planta y que puede sensibilizar hasta al 23,5% de trabajadores de una planta procesadora de girasol.

Es un polen trizonocolporado, isopolar, con simetría radial; en visión ecuatorial es circular o casi circular, de tamaño pequeño o mediano (22-45 µm x 24-45 µm) **(fig. 72)**.

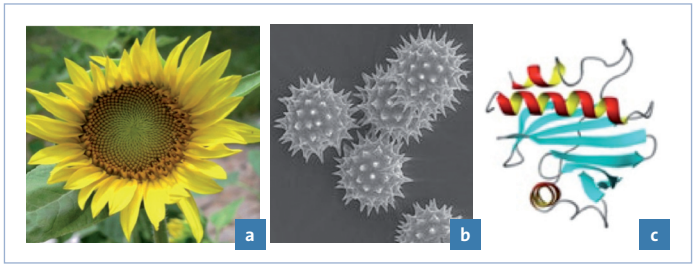


Figura 72. *a)* Flor del girasol, *b)* detalle del polen, *c)* estructura de Hel a 1. *Fuentes: http://www.planthogar.net/enciclopedia/fichas/556/girasol-helianthus-annuus.html, https://es.wikipedia.org/wiki/Zonas_de_polen y https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=13.*

Los alérgenos de girasol son Hel a 1, de 34 kDa, Hel a 2 (una profilina) y Hel a 3 (una LTP).

6.3. Tilo

Los tilos comprenden un género de árboles ornamentales de la familia de las malváceas que se distribuyen a lo ancho de Asia, Sudamérica, Europa y el oriente de Norteamérica. Sus flores amarillentas o de color blanquecino son muy apreciadas por el aroma sutil que desprenden, además de por sus propiedades farmacológicas, pues contienen mucílago (un emoliente), parnesol (sedante y espasmolítico) y flavonoides con poder diurético. Induce polinosis en población general de ciudades de plantación intensiva como en La Plata, pro-

vincia de Buenos Aires (Argentina) y en profesionales dedicados a la recogida y secado de sus flores, en los que se han descrito casos de alergia ocupacional por la exposición íntima al polen **(fig. 73)**.

Figura 73. Tilo.
Fuente: http://floresyjardin.es/el-tilo-aroma-y-belleza/.

6.4. 'Diplotaxis erucoides'

Conocido como jaramago, rabaniza blanca, oruga silvestre o liria blanca, es una compuesta brasicácea mediterránea de medio metro de altura. Es muy abundante durante los meses de otoño e invierno en los campos de cultivo de almendros, viñedos y márgenes de caminos, donde puede llegar a ser dominante. Poliniza en cualquier época del año y es a finales de invierno cuando está en su máximo esplendor. Germina

rápidamente después de las primeras lluvias y en pocas semanas florece y cubre de blanco los campos **(fig. 74)**.

Sus flores constan de cuatro pétalos completamente blancos o con algunas venas violetas. Aunque es de polinización entomófila, se han descrito casos de alergia respiratoria ocupacional en trabajadores de viñas y olivares durante el necesario proceso de arrancado, ya que los campos que invaden ven mermado el tamaño de los frutos de cultivo.

Figura 74. *Diplotaxis euricoides,* detalle de la flor.
Fuente: http://jardineriaonline.blogspot.com.es/2012/03/rabaniza-comun-oruga-borde-diplotaxis.html.

Aerobiología,
polinosis y cambio climático

7

HONGOS ALERGÉNICOS

7. HONGOS ALERGÉNICOS

Los hongos o mohos alergénicos aparecen como estructuras filamentosas o micelares formando las colonias visibles de las típicas manchas de humedad en las paredes o una fina pelusa sobre los alimentos mal conservados. Sus partículas reproductoras son las esporas de carácter microscópico con capacidad aerovagante y constituyen la principal fuente de alérgenos fúngicos[64,65].

Desde hace más de 80 años es conocida la relación existente entre la exposición a esporas y la presencia de síntomas de asma en pacientes con reactividad cutánea a extractos de hongos. Las esporas exhiben una amplia diversidad aerobiológica tanto cualitativa como cuantitativa (se pueden registrar desde 200 hasta 1.000.000 de esporas/m^3) muy condicionada por el ambiente, características geográficas y estación climática de cada latitud. Se registran con los mismos

captadores de polen utilizados en aerobiología, superando a aquellos en un número de más de 10.000 veces[66].

Los principales condicionantes ambientales del proceso de formación de esporas o **esporulación** son la oxigenación, la humedad relativa mínima de supervivencia (sobre el 70%), la temperatura (los hongos eutérmicos soportan amplios márgenes térmicos, y los estenotérmicos, márgenes más estrechos), la luz (loa hongos con fototropismo positivo crecen hacia la luz y los que tiene fototropismo negativo no la necesitan), el pH (óptimo entre 4,5 y 8), nutrientes de predominio vegetal (celulosa y almidón) y, en general, cualquier compuesto orgánico natural y la geografía física, que condicionará el clima, el relieve y la vegetación del medio físico. En general, los prados de las regiones templadas y los campos de cultivo, sobre todo de cereales, favorecen el crecimiento de *Cladosporium*, *Alternaria*, *Epicoccum* y *Ustilago.*

Las principales fuentes de esporas fúngicas atmosféricas proceden de las hojas en descomposición de los bosques, invernaderos, pilas de compost, zonas desurbanizadas, praderas y/o campos de césped y los almacenes de heno, grano y harinas. Las esporas de *Cladosporium* son las más comunes (40-80%), seguidas de basidiosporas, ascosporas, *Aspergillus, Penicillium*, *Botrytis* y levaduras. *Alternaria, Dydimella, Fusarium* y *Ustilago* suponen el 10%, y por debajo del 5% están *Aerobasidium*, *Chaetomium, Curvularia*, *Dreschela*, *Entomphtora*, *Erisiphe* y *Rhizopus*[67].

7.1. 'Cladosporium'

Aunque no es el hongo de mayor poder alergénico, es extremadamente ubicuo, ya que se desarrolla tanto en la tundra como en estuarios salinos y desde los polos hasta los trópicos. Su temperatura óptima de crecimiento es de 18 °C a 27 °C. Coloniza habitualmente sustratos vegetales como hojas muertas, musgo, helechos, cereales almacenados y frutas. Es la especie dominante en la España seca del interior, aunque no tanto como en el Mediterráneo o centro y norte de Europa (Londres, Bruselas y Múnich)[68]. Los niveles de esporas de *Cladosporium herbarum* dependen de la climatología que se dé en cada estación anual **(fig. 75)**. Se ha observado que un año son más abundantes a finales de mayo y junio, y al si-

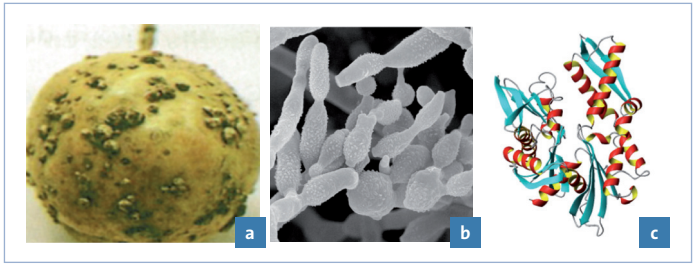


Figura 75. *a)* Colonias de *C. herbarum*, *b)* esporas, *c)* estructura de Cla h 5. *Fuentes: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-83822001000200005, http://alergiafbbva.es/los-responsables-de-la-rinoconjuntivitis-y-el-asma-alergicas/9-alergia-a-la-humedad-%C2%BFque-son-los-hongos-y-como-evitarlos/ y https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=141*

guiente predominan en marzo y abril, coincidiendo con temperaturas más suaves, precipitaciones bajas y una humedad relativa del 60%, condiciones ideales para su crecimiento[69].

7.2. 'Alternaria'

Es un hongo de distribución universal de los más ubicuos y el que posee mayor poder alergénico. Crece como saprófito o parásito sobre sustratos orgánicos en descomposición y todo tipo de materia vegetal y está presente en alimentos y tejidos. Su temperatura óptima de crecimiento oscila entre 25 °C y 28 °C y predomina en espacios abiertos. Sus esporas se detectan prácticamente durante todo el año, con picos en los meses calurosos del verano. Esta presencia tan prolongada en el tiempo contribuye a la cronicidad y gravedad de la patología que produce, y su sensibilización y exposición a aeroalérgenos son factores de riesgo de asma, de asma grave e incluso de asma mortal[70-72].

En España, los niveles de esporas atmosféricas de *Alternaria* son muy variables según latitudes. En zonas del interior peninsular muestran picos en mayo y septiembre, mientras que en zonas de la costa gaditana y catalana abarcan desde la primavera hasta el otoño[72-74] **(fig. 76)**.

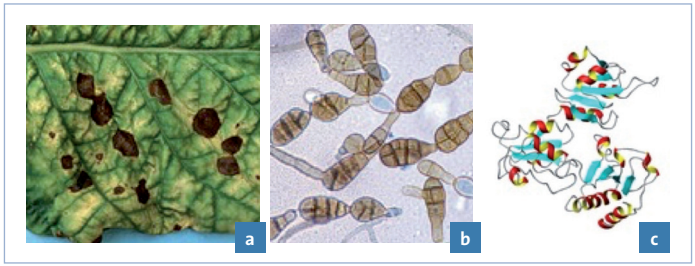


Figura 76. *a)* Colonias de *Alternaria*, *b)* esporas, *c)* estructura de Alt a 4. *Fuentes: https://es.wikipedia.org/wiki/Alternaria_alternata, http://www.taxateca.com/ordenpleosporales.html y https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=132.*

7.3. 'Aspergillus'

Es un género perteneciente a la familia-forma *Moniliáceas* (orden-forma *Moniliales*, subdivisión *Deuteromicotinas*) que consta de unas 170 especies de distribución cosmopolita. Ocupa el segundo lugar en importancia entre los hongos alergénicos después de *Alternaria*. A pesar de que su distribución es muy amplia, y su presencia casi constante en la atmósfera, es inferior a otros hongos. Es muy abundante en zonas de excavación de tierra, obras en construcción, depósitos de material orgánico en descomposición, plantaciones vegetales, instalaciones de aguas residuales y excretas de pájaros y mamíferos. Se aísla en muestras de semillas y grano almacenado, hojas muertas de ambientes húmedos, hojas de tabaco mal secadas y en patatas mal conservadas.

Aspergillus fumigatus es su especie más importante desde el punto de vista alergénico, debido a su gran resistencia y tolerancia a amplios rangos de temperatura, bajas tasas de oxígeno, pasteurización a 63 °C durante 25 minutos y su capacidad de producir abundantes metabolitos tóxicos de gran poder alergénico **(fig. 77)**.

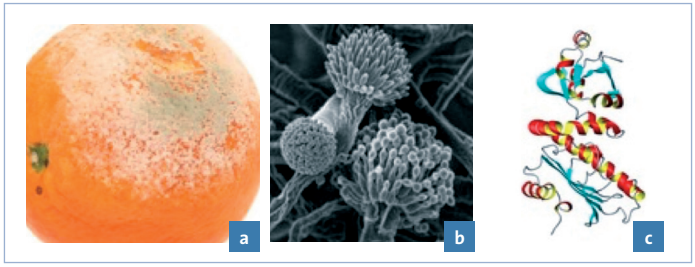


Figura 77. *a)* Colonias de *Aspergillus*, *b)* esporas, *c)* estructura de Asp f 12. *Fuentes: http://www.facmed.unam.mx/deptos/microbiologia/micologia/aspergilosis.html, http://www.taxateca.com/ordeneurotiales.html y https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=160.*

7.4. 'Penicillium'

Es uno de los seres vivos eucariotas más comunes del planeta. Su función es contribuir a la descomposición de la materia orgánica. Predomina en climas templados, en los bosques, prados y superficies de cultivos. Aunque no muestra una notable variación estacional, está más presente en los meses de primavera y otoño, principalmente en áreas urbanas. Su temperatura de crecimiento es de 23 °C **(fig. 78)**.

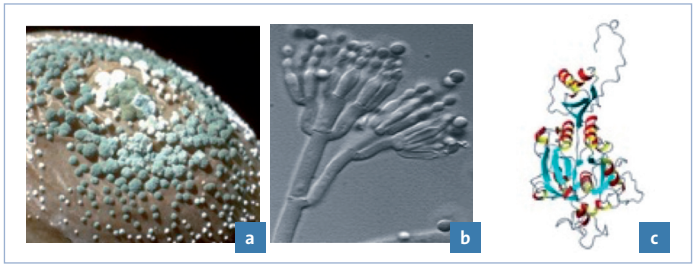


Figura 78. *a)* Colonias de *Penicillium*, *b)* esporas, *c)* estructura de Pen ch 13. *Fuentes: http://www.interempresas.net/Poscosecha/Articulos/147981-Uso-de-fungicidas-en-poscosecha-de-frutos-citricos.html y https://fermi.utmb.edu/cgi-bin/SDAP/sdap_02?dB_Type=0&allid=173.*

7.5. 'Basidiomicota'

Consta de unas 20.000 especies, de las cuales 25 tienen poder alergénico. Entre ellas destaca *Aerobasidium pullulans*. Es un saprófito de distribución mundial, común en zonas templadas que se aísla habitualmente en el suelo, hojas y madera de los árboles. Los basidiosporos ocupan el segundo lugar en presencia atmosférica.

7.6. 'Fusarium'

Se distribuye por todo el mundo en numerosas plantas y diferentes tipos de suelo. Es un importante fitopatógeno del arroz, caña de azúcar, sorgo, maíz, plátanos, tomates y melones. Su esporulación es más intensa en periodos cálidos

y húmedos. En las estaciones frías y secas sobrevive en las plantas y el suelo.

7.7. 'Mucor micedo' y Rhizopus stolonifer'

Son poco abundantes al aire libre, pero aumentan mucho en zonas con vegetales en descomposición y alto grado de humedad.

7.8. 'Stemphylium'

Es, junto con *Alternaria,* uno de los hongos alergénicos cosmopolitas más distribuidos por el hemisferio Norte, sobre todo en zonas templadas y subtropicales. Se ha aislado en suelos de bosques, praderas, cultivos de trigo y otros cereales, cítricos y cafetales.

7.9. Aerobiología de los hongos

En latitudes de clima templado cuya estación estival es seca, tal como sucede en buena parte de España, las concentraciones de esporas tienden a crecer progresivamente en los meses de verano, con picos de mayor presencia en otoño. Predominan, por este orden, *Cladosporium*, *Botrytis, Alternaria, Dreschslera, Epicoccum, Curvularia* y *Phitomices*. Son definidas como "esporas de aire seco", ya que necesitan temperaturas moderadamente elevadas y corrientes de viento para

ser liberadas pasivamente[76]. Con las lluvias pueden aumentar sus concentraciones, ya que por un mecanismo de vibración por impacto sobre las estructuras vegetales en las que reside el hongo, las gotas deshacen la masa mucilaginosa y pueden liberar las esporas del micelio[77].

7.10. Resumen

Las partículas alergénicas de los hongos son sus esporas. El hongo más común en la atmósfera es *Cladosporium* y el más alergénico es *Alternaria*. En líneas generales, las esporas de los hongos se detectan sobre todo en los meses de verano y otoño.

8

INFLUENCIA DEL CLIMA SOBRE LA POLINIZACIÓN DE LAS PLANTAS ALERGÉNICAS DE ESPAÑA

8. INFLUENCIA DEL CLIMA SOBRE LA POLINIZACIÓN DE LAS PLANTAS ALERGÉNICAS DE ESPAÑA

8.1. El clima de la península Ibérica

Es muy variado por su latitud y relieve diverso, con grandes oscilaciones de norte a sur que tienen su reflejo en cada estación.

España se encuentra en una zona templada muy heterogénea que alterna zonas de aire cálido de tipo subtropical con otras de frío y con ambientes de temperaturas suaves en torno a los 15 °C con otros que superan los 40 °C en verano, y latitudes de clima oceánico húmedo con precipitaciones anuales de más de 2.500 mm que contrastan con las de clima mediterráneo desértico, que no superan los 200 mm anuales, como es el cabo de Gata, con 150 mm.

Según la latitud se han descrito una serie de gradientes:

1. En el interior las precipitaciones descienden de poniente a levante.
2. Las temperaturas en general aumentan de norte a sur.
3. Enero suele ser el mes con la temperatura media más baja, mientras que agosto es el de promedio más alto.
4. Las temperaturas de las aguas del Mediterráneo son más altas (entre los 15 °C y 18 °C) que las del Cantábrico (14 °C).
5. La amplitud térmica es mayor en el interior de la Meseta, donde en ocasiones alcanza los 20 °C, mientras que en lugares como Canarias es menor, con apenas una variación de 5 °C entre el mes más cálido y el más frío.

8.2. Zonas climáticas

Asumiendo estas premisas, en España se distinguen tres grandes zonas climáticas: atlántica, mediterránea y subtropical.

a) **Zona atlántica:** o templada húmeda, se extiende entre Galicia y el Pirineo y está caracterizada por su elevada pluviometría repartida a lo largo de todo el año y pequeñas oscilaciones térmicas con veranos frescos e inviernos suaves. Comprende varios pisos bioclimáticos: colino, montano, alpino y subalpino, según su altura sobre el nivel del mar.

b) **Zona mediterránea:** al sur de la cordillera Cantábrica, abarca el resto de la península Ibérica y Baleares, y se caracteriza, en general, por la alternancia según la zona, de periodos secos en los veranos áridos con otros lluviosos según la época del año. Por su complejidad se subdivide en:

- *Zona supramediterránea o continental:* engloba el centro y el este de las Mesetas, el valle del Ebro y algunas zonas de Granada. Los inviernos son fríos y los veranos, cálidos.
- *Zona mesomediterránea:* va del oeste de la Península a través de los valles del Tajo, Guadiana y Guadalquivir. Las influencias atlánticas suavizan los inviernos y se van diluyendo hacia el este y hacia el sur debido a los sistemas montañosos.
- *Zona termomediterránea:* alterna periodos secos de veranos áridos con otoños y primaveras lluviosas, en ocasiones con situaciones extremas de *gota fría*, muy características. Las temperaturas invernales son suaves debido a la influencia marina y las veraniegas a veces son muy altas por la llegada de aire caliente procedente de África. Esta aridez tiene su máximo exponente en el sureste peninsular, en las provincias de Alicante, Murcia y Almería, donde se habla incluso de "desertización".

c) **Zona subtropical:** llamada así por su proximidad a los trópicos, es característica de las islas Canarias y una estrecha

franja costera situada entre Granada y Huelva protegida del resto de la Península por las sierras béticas. Se caracteriza por la presencia de los vientos alisios y las corrientes de agua fría. Las temperaturas son elevadas durante todo el año, entre los 18 °C y los 21 °C de media, mientras que las precipitaciones son escasas, menos de 250 mm, y se concentran en invierno.

Utilizando las temperaturas medias de las mínimas absolutas anuales, y de una manera simplificada, se puede dibujar el mapa térmico de España **(fig. 79)** que muestra las isotermas de las zonas climáticas.

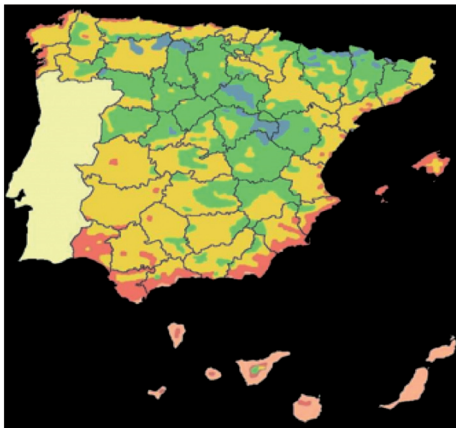


Figura 79. Perfil térmico de las zonas climáticas.
Fuente: http://www.arbolesornamentales.es/Zonasclimaticas.htm.

8.3. Perfiles pluviométricos y polinización

Estas zonas climáticas determinan tres tipos de perfiles pluviométricos que van a condicionar la biología de las plantas en general y de las alergénicas en particular y, por tanto, su producción polínica. Se distinguen las siguientes:

a) **La España seca del área continental**, con los recuentos polínicos más altos y días de máxima concentración peninsular como consecuencia de la pluviosidad preestacional y el paso brusco del frío al calor. El periodo de floración es corto, pero simultáneo y muy intenso, característico de la mayoría de las especies de las gramíneas[78], muy comunes por la orografía y los tipos de cultivos del terreno.

Aquí el impacto de las lluvias previas es tan importante, que estaciones de recogida de polen de ciudades como Madrid, Badajoz, Toledo y Ciudad Real han registrado unos incrementos en los recuentos de gramíneas hasta cuatro veces superiores, cuando las lluvias del otoño previo han duplicado los valores habituales. Esta relación ha permitido elaborar un modelo predictivo sobre los recuentos entre abril y julio, en función de la pluviosidad del otoño e invierno previos, que además sirve para adelantar el previsible impacto clínico en la población alérgica[79].

b) **La España seca del litoral mediterráneo** (pluviosidad anual de 300-500 l/m²), donde las concentraciones atmosféricas de polen son bajas pero más prolongadas, con un periodo de floración más extenso gracias al efecto atemperador del mar.

Estaciones de recogida de polen de Málaga y Elche han puesto de manifiesto el efecto de la pluviosidad preestacional sobre la polinización, aunque de una forma más modesta que en el área continental. A unos incrementos de lluvias de casi el triple, siguieron aumentos en los recuentos de gramíneas de casi el doble[80].

c) **La España verde** (pluviosidad alta y continuada >1.000 l/m²/año), del macizo Galaico, cornisa cantábrica y zonas de alta montaña. Posee una gran vegetación de gramíneas, pero con una incidencia atmosférica modesta, debido a las frecuentes precipitaciones en los meses de floración (mayo-junio). Sin embargo, en los años secos la situación puede variar y pueden darse importantes picos de concentración **(fig. 80)**.

La estación aeropolínica de Bilbao no apreció grandes variaciones en la concentración de polen de gramíneas dependiente de la pluviometría. La presencia de polen está más supeditada a la cantidad de lluvia durante la estación y a la temperatura preestacional y estacional que a la pluviosidad invernal, que suele ser más constante[80].

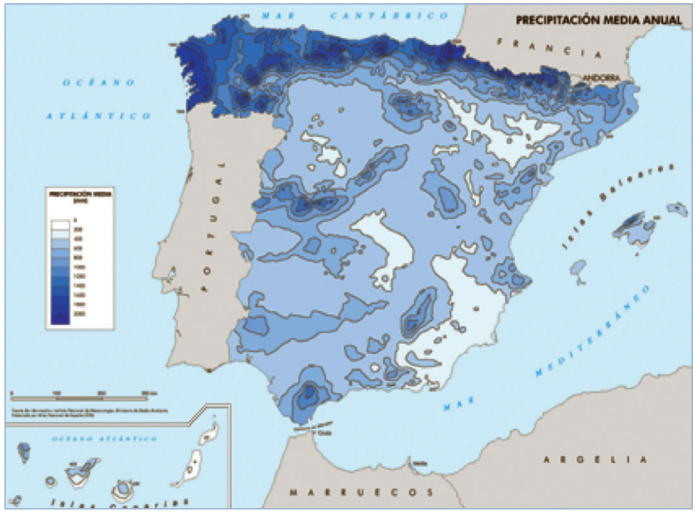


Figura 80. Perfil pluviométrico de las zonas climáticas de España.
Fuente: http://www.02.ign.es/espmap/mapas_clima_bach/Mapa_clima_05.htm.

8.4. Resumen

El clima peninsular es muy variado; por ello se distinguen una **España seca de área continental,** una **España seca de litoral mediterráneo** y una **España verde atltántico-cantábrica** en función de la presencia de tres tipos climáticos: mediterráneo, tropical (predominio insular) y atlántico.

9

INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS PLANTAS CON CAPACIDAD ALERGÉNICA

9. INFLUENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS PLANTAS CON CAPACIDAD ALERGÉNICA

9.1. Cambio climático y biodiversidad

El **clima** es la estadística (normalmente, la media o la varianza) del tiempo atmosférico que hace referencia a patrones de variación en temperatura, humedad, presión atmosférica, viento, precipitación, recuento de partículas atmosféricas y otras variables meteorológicas en una región dada sobre periodos largos de tiempo (aproximado de 30 años). El clima difiere del tiempo en que el tiempo solo describe las condiciones a corto plazo de estas variables en una región dada. El clima de una región está generado por el **sistema climático**, el cual tiene cinco componentes: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera.

El cambio climático es una modificación en la distribución estadística de los patrones meteorológicos durante un periodo prolongado de tiempo (de décadas a millones de años) sobre las condiciones promedio del tiempo o la variación temporal meteorológica de las mismas a largo plazo (más o menos fenómenos meteorológicos extremos). Se atribuye a factores naturales como procesos bióticos, variaciones en la radiación solar recibida por la Tierra, tectónica de placas y erupciones volcánicas y a ciertas actividades humanas. Aunque establecer el nivel de responsabilidad de cada uno de estos factores es una labor muy compleja, la corriente de pensamiento actual estima que el efecto de las actividades antrópicas en las tres últimas décadas ha influido en los sistemas biológicos a nivel colectivo. A ello se sumaría la acción de una serie de amenazas regionales como el cambio de uso de suelo, la contaminación y la introducción de especies invasoras. En el futuro puede preverse que si continúa la tendencia del cambio climático antropogénico proyectada actualmente, podría ser uno de los factores directos de mayor impacto sobre la biodiversidad. En líneas generales el cambio climático supone un aumento de las temperaturas y una reducción general en el índice de las precipitaciones en combinación con mayor tasa de tormentas. Durante el siglo XX la temperatura media global ha aumentado unos 0,6 °C[81] y en la estación primaveral en los países mediterráneos hasta 2 °C en las dos últimas décadas[82]. Estudios paleoclimáticos apuntan a que el ritmo al que se está produciendo el calentamiento climático actual

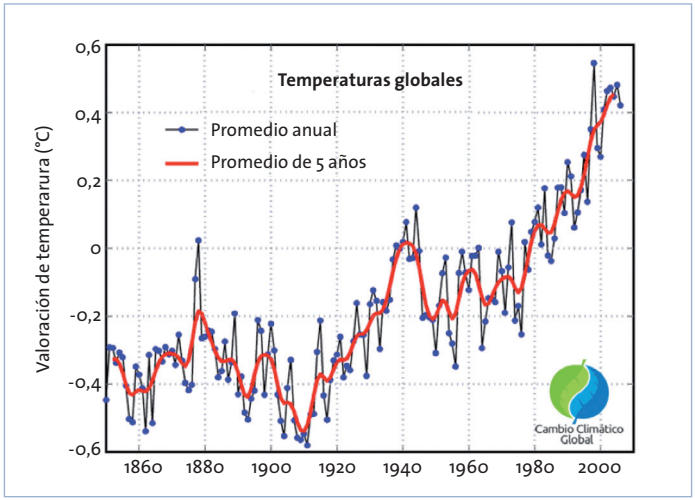


Figura 81. Variación global en la temperatura, 1860-2002 (con relación al promedio de la temperatura en el periodo 1961-1990). Pollution Probe. *Primer on Climate Change and Human Health*. Toronto, Canadá: Pollution Probe, 2004.

es notablemente superior a otros sucesos de este tipo acontecidos en el pasado milenio[83] **(fig. 81)**.

Este calentamiento es consecuencia del **efecto invernadero,** definido como el proceso en el que la radiación térmica emitida por la superficie planetaria es absorbida por los gases de efecto invernado (GEI) atmosféricos y luego reirradiada en todas las direcciones. Como parte de esta reirradiación es devuelta hacia la superficie y a la atmósfera inferior, se

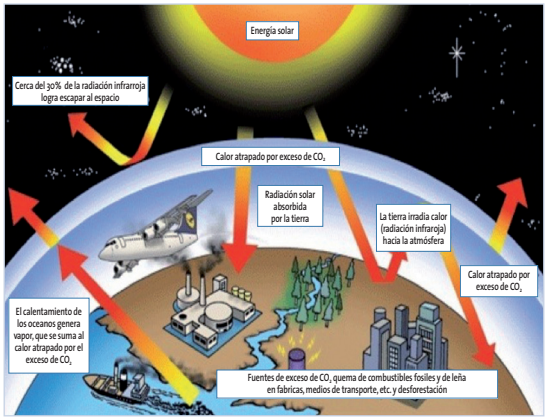
produce un incremento de la temperatura superficial media respecto a la que habría en ausencia de los GEI. La radiación solar en frecuencias de la luz visible pasa en su mayor parte a través de la atmósfera para calentar la superficie planetaria, que luego emite esta energía en frecuencias menores de radiación térmica infrarroja absorbida por los GEI. Estos, a su vez, reirradian mucha de esta energía a la superficie y atmósfera inferior. Este mecanismo recibe su nombre debido a su analogía con el efecto de la radiación solar que pasa a través de un vidrio y calienta un invernadero **(figs. 82 y 83)**.

Para identificar correctamente los efectos directos del cambio climático sobre la biodiversidad, es necesario recopilar un volumen importante de información tanto a escala espacial, disponible para amplias zonas geográficas, como a escala temporal, con largas series temporales de datos biológicos y de la que hoy en día todavía se carece.

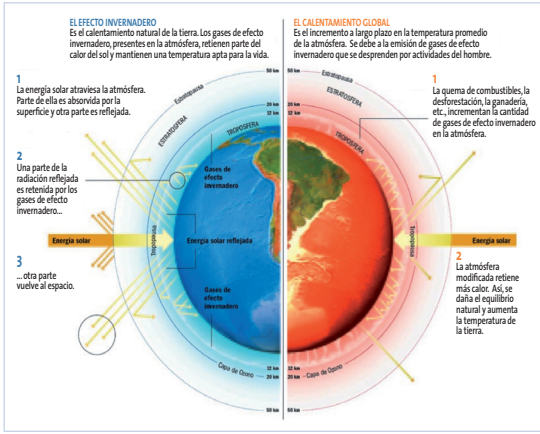
Las zonas y sistemas más vulnerables al cambio climático son las islas y los ecosistemas aislados como las islas edáficas, sistemas de alta montaña y los ecotonos o zonas de transición entre sistemas[81].

Los primeros estudios sobre los efectos del cambio climático evaluaron aspectos como:

1. El impacto en los patrones fenológicos, fenotípicos y respuestas conductuales y fisiológicas de numerosas especies de aves, mamíferos e insectos[84].



82



83

Figuras 82 y 83. Representación esquemática del efecto invernadero natural y el producido por los gases de efecto invernadero.
Fuente: www.concienciaeco.com

2. Los movimientos altitudinales, ampliación y/o extinción de ecosistemas responsables del desplazamiento y/o erradicación de especies.
3. La modificación o sustitución de ecosistemas a nivel regional, favoreciendo la expansión de especies invasoras y/o plagas.

En la actualidad, existe bastante incertidumbre sobre el efecto en conjunto de los cambios de la temperatura y la precipitación sobre las plantas[83]. La vegetación está en sintonía con su entorno y es un indicador muy sensible de cambio climático tanto a regional como globalmente. Cambios en la humedad y/o temperatura puede modificar la composición y la distribución de las comunidades vegetales. Un estudio sobre el aumento de las temperaturas y su efecto sobre la vegetación realizado en Estados Unidos con datos de entre 1990 y 2006 demostró que los límites de las *zonas de resistencia al frío de la vegetación* o *Hardiness zones*, un índice que se obtiene en función de la media de las temperaturas mínimas del mes más frío, habían sufrido un desplazamiento hacia el norte[85]. Este fenómeno llevó a que el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) revisara el mapa de resistencia al frío desde 1990.

9.2. Cambio climático en España

La disposición geográfica de la península Ibérica condiciona que nuestro país sea uno de los más vulnerables al cambio

climático. Con un alto nivel de confianza, y de forma similar a lo que sucede en otras latitudes, el clima venidero en nuestro país sufrirá cambios sobre todo en la temperatura, que será más elevada. También son esperables cambios significativos en las precipitaciones con una tendencia a la baja, aunque la certeza de cuánto, dónde y en qué momentos del año cambiará es menor. El impacto no será homogéneo en todo el territorio, sino que algunas zonas serán más sensibles que otras dadas sus peculiaridades. Por ello, es necesario establecer un protocolo de evaluación integrado que incluya la aplicación de modelos a las proyecciones climáticas más detalladas espacial y temporalmente.

Un estudio sobre el impacto del cambio climático en España, elaborado por la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente y el Departamento de Ciencias Ambientales de la Universidad de Castilla-La Mancha, destaca entre sus conclusiones que en el último tercio del siglo XXI la temperatura media podría subir hasta siete grados en verano y el nivel del mar hasta un metro, lo que haría desaparecer playas del Cantábrico, el delta del Ebro, del Llobregat, la Manga del Mar Menor y la costa de Doñana e inundar zonas construidas. Por otro lado, la disminución de las precipitaciones y de la disponibilidad de agua llevaría a una reducción de la productividad de las aguas pesqueras, desajustes entre animales predadores y sus presas, pérdida de biodiversidad, aumento de catástrofes naturales e importantes afecciones sobre la salud humana, como la cada vez

más prevalente polinosis[38,39]. El estudio plantea dos escenarios posibles: uno basado en que las emisiones a la atmósfera de los gases de efecto invernadero sean en 2100 el 120% superiores a las actuales (A1), y otro basado en que esas emisiones aumenten a un ritmo menor y al final del siglo sean *solo* el doble que en la actualidad (A2). En el interior peninsular las temperaturas aumentarán entre 5 °C y 7 °C en verano y entre 3 °C y 4 °C en invierno, según el escenario más pesimista, y un grado menos según el escenario A2. En la periferia de la Península y en Baleares, el calentamiento será dos grados menor que en el interior, y en Canarias tres grados menor en verano y dos grados menor en invierno. Más heterogéneos son los cambios que afectarán a las precipitaciones, ya que en invierno es previsible que aumenten en el noroeste y disminuyan en el sureste, aunque en verano el descenso es máximo en todo el territorio excepto en Canarias. Aumentarán, además, muy significativamente (excepto en Baleares y Canarias) los días con temperaturas máximas extremas y disminuirán los días que registren mínimas extremas.

El calentamiento que sufrirá España afectará también a animales y plantas, ya que favorecerá la expansión de las especies invasoras. En concreto, las malezas de la familia de las queno-amarantáceas, como la salsola, que son especies invasoras de terrenos salinos desertificados. Algunos ecosistemas acuáticos continentales pasarán de ser permanentes a estacionales y otros desaparecerán. El estudio plantea que

un aumento de la temperatura de 2,5 °C y una disminución de las precipitaciones del 8% en el horizonte de 2060 provocará una reducción media de los recursos hídricos del 17%, y este impacto será más intenso en las cuencas del Guadiana, Canarias, Segura, Júcar, Guadalquivir, Sur y Baleares **(fig. 84)**.

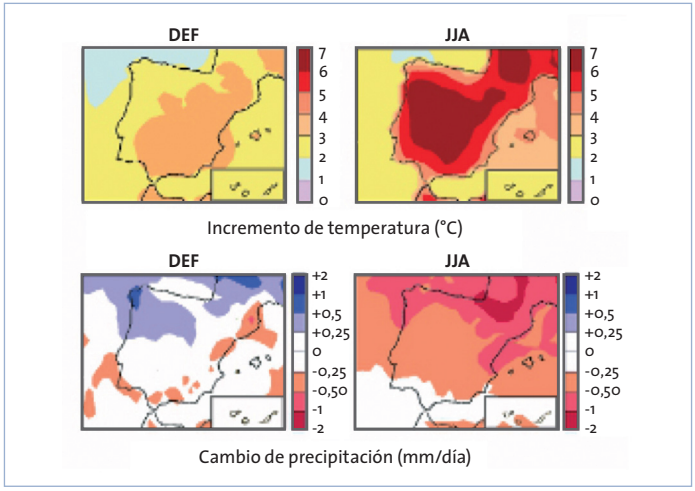


Figura 84. Proyecciones de cambio de temperatura media diaria del aire superficial (°C) y de cambio de precipitación (en mm/día), promediadas para dos estaciones del año (DEF invierno y JJA verano) en la península Ibérica, Baleares y Canarias (esquina inferior derecha en cada mapa), correspondientes al escenario SRES de emisiones A2. Los valores corresponden a diferencias entre la simulación del periodo 2071-2100 y la de control (1961-1990). Del Grupo de Modelización Numérica para el Medio Ambiente y el Clima (MOMAC), UCLM, Toledo (datos no publicados).
Fuente: Ministerio de Medio Ambiente/ECCE. Fuente: http://www.mma.es/oecc/pdf/conclusiones_impactos.pdf.

9.3. Cambio climático y polinización

La variación de las concentraciones de polen y esporas depende en gran medida de las especies existentes cultivadas o silvestres y de factores meteorológicos. De esta manera, la influencia de la temperatura sobre la vegetación sugiere que un recalentamiento climático influirá significativamente sobre el desarrollo de la misma[86]. Modificaciones en la actividad biológica de las plantas (floración, expansión foliar, crecimiento radicular, toma de nutrientes) producen cambios significativos en las relaciones de competencia entre distintas especies, alterando la estructura y evolución del ecosistema[87]. En consecuencia, las concentraciones polínicas atmosféricas, reflejo directo de la fenología de floración, pueden ser un importante elemento regional indicador de cambio climático[88]. Por esta razón, la **aerobiología** y en concreto la **aeropalinología** son fuente de información de datos indirectos del impacto del cambio climático, al detectar modificaciones (adelantamiento o prolongación) de la polinización de especies con capacidad alergénica y su biodiversidad.

9.3.1. Modificaciones en la polinización causadas por el cambio climático

Estudios realizados en diversas latitudes con una perspectiva de varias décadas (la mayoría de publicaciones son del presente siglo) han demostrado que las especies que florecen en invierno y en primavera se están viendo sujetas a la

influencia de unos inviernos más suaves entre los años de 1990 y 2000, y se observa en líneas generales una clara tendencia al **adelantamiento de la polinización.** Se detallan a continuación y por orden cronológico los siguientes:

1. Teranishi et al. observaron una correlación positiva entre el aumento de la temperatura urbana y el incremento de las concentraciones de polen de *Cryptomeria japonica* a lo largo de 15 años[89].

2. En Suiza[90] la polinización de *Alnus, Quercus y Betula* durante 30 años se veía modificada por el cambio de la temperatura y el incremento de CO_2 y NO_x, principalmente a principios de primavera y verano.

3. En Norteamérica[91] se detectó un aumento significativo de las concentraciones polínicas anuales de *Juniperus*, *Quercus*, *Carya* y *Betula* en relación con el aumento de la temperatura media invernal.

4. Los recuentos polínicos de 1987 y 1998 en Japón fueron más prolongados, años en los que las temperaturas fueron más otoñales en invierno[92].

5. La monitorizaron del abedul durante 20 años en distintas regiones del noroeste de Europa demostró un cambio en la presencia de carga de polen atmosférico durante los primeros meses de la primavera como resultado de una variación en la temperatura de 1 °C con respecto a años anteriores. Los autores propusieron elaborar modelos

predictivos de polinización para prevenir enfermedades en la población debido al cambio en la fenología de estas especies[93].

6. En Italia la polinización de las urticáceas durante 20 años se prolongó significativamente con el aumento de las temperaturas[94].

7. En Dinamarca el incremento de las concentraciones polínicas de abedul, estaba en consonancia con el aumento de las temperaturas[95].

8. Un estudio sobre la flora británica demostró en la década de 1990 una marcada tendencia temporal al adelanto de la fenología floral en torno a 4,5 días[87] en relación con el aumento de las temperaturas. Con una metodología similar, Schneiter[96] describió cómo el polen del abedul se ha adelantado un promedio de tres semanas en los últimos 20 años, mientras que el polen de cenizo lo hace con un mes de antelación.

9. En Suiza las plantas de los géneros *Taxus, Poa, Pinus, Betula, Urtica* y *Fraxinus* han incrementado sus niveles de polen durante 20 años en respuesta al incremento de temperatura global[97] y de una forma más acusada en los países industrializados.

10. En Italia un registro de 22 años demostró la presencia de una respuesta fisiológica inmediata en la polinización del olivo frente a incrementos mínimos de la temperatura[98].

Una extensión de este trabajo en otros países de la región mediterránea objetivó que las tendencias actuales en las fechas de floración del olivo tienden a un adelanto generalizado y concluía que su periodo de polinización puede ser utilizado como un bioindicador de potenciales cambios del clima en el futuro[99].

11. *Platanus spp.* en zonas climáticas diversas de Italia y España también se ha visto afectado por el incremento variable anualizado de la temperatura y la humedad[100].

12. En Polonia la *Artemisia* florece antes y durante más tiempo en relación con el incremento de las temperaturas durante 10 años[101].

13. El cambio climático también influye sobre la presencia de esporas de hongos. Frengueli demostró en 2002 que los años en los que se prolongó el otoño por haber unas temperaturas más suaves las primeras semanas del invierno se daban niveles de esporas superiores y más prolongados[102].

9.3.2. Polinización y cambio climático en España

Los datos en nuestro país son coherentes con los de otros entornos. La polinización del olivo en Andalucía entre 1980 y 2000 se ha adelantado una media de 5 días[103]. Un estudio multicéntrico ha establecido un adelanto en la floración de *quercus* relacionado con el aumento de las temperaturas del periodo previo[104].

Cuando se trata de tendencias al cambio climático, hay que tener en cuenta también las variaciones térmicas interanuales. La polinización del ciprés y del plátano precedidas de un invierno especialmente cálido en los años 2007-2008 (sin igual desde 1971), se anticipó (e intensificó) en algunas semanas, sobre todo en las zonas del interior y sur, lo que llevó a un adelanto e incremento de la sintomatología en los alérgicos.

La polinización de las cupresáceas no solo se ha adelantado, también se ha incrementado desde la década de 1970. Especies como *Cupressus sempervirens,* típicas de los cementerios, en el último tercio del siglo XX se han extendido por la vía pública de las ciudades tanto para uso ornamental como para vallados (*C. arizonica*) entre viviendas. A esto se añade la tendencia climática hacia una reducción de las precipitaciones en el periodo de polinización de este taxón. No es de extrañar, por lo tanto, que se haya multiplicado el número de sensibilizados. Desde los casos anecdóticos de la década de 1970, se pasó a una tasa de sensibilización del 23% en la de 1990. Sin embargo, en los últimos 15 años la concentración de polen de cupresáceas se ha mantenido estable y la prevalencia de personas sensibilizadas ha seguido aumentando hasta más del 50%, dato que plantea la existencia de otros factores que puedan estar potenciando su capacidad alergénica.

Belmonte comprobó que en Barcelona hay años en que el plátano adelanta su floración y otros en que la atrasa, según la temperatura y dependiendo del intervalo de tiempo de

medición[105]. Entre los años 1994 y 2008, la tendencia era a una demora (no significativa) en la fecha de inicio y a una reducción en el número de días de polinización. Sin embargo, cuando aumentaron el periodo de estudio a 11 años atrás, también observaron una tendencia no significativa a un adelantamiento de la misma con picos significativos en la semana en que se adelantó. En 2005 tras una tardía bajada de las temperaturas a finales del invierno, se dio una demora de la siguiente polinización. Los autores concluyeron que el efecto del cambio climático sobre la polinización variaba en función de si se medía el aumento de la temperatura de forma constante y continua o si se atendía a las cifras de promedios anuales, sin olvidar la influencia en los resultados del impacto de la acción antrópica (podas y sustituciones en el arbolado urbano) **(fig. 85)**.

Con gramíneas, en el mismo periodo (de 1994 a 2008), observaron una tendencia al adelanto en el inicio de la polinización (menos afectadas por la acción antrópica), pero, a diferencia del plátano, con un retraso en la fecha de máximos. También apreciaron tendencias significativas al adelanto de la polinización de cupresáceas y al retraso del inicio de urticáceas. El plátano, cupresáceas y urticáceas mostraban una reducción en el número de días de máximos. Los autores asumieron que sus resultados están todavía muy condicionados por el relativamente corto intervalo de medición.

Un reciente artículo midió los niveles de polen de gramíneas en ocho estaciones andaluzas[106] en un periodo entre 1982 y

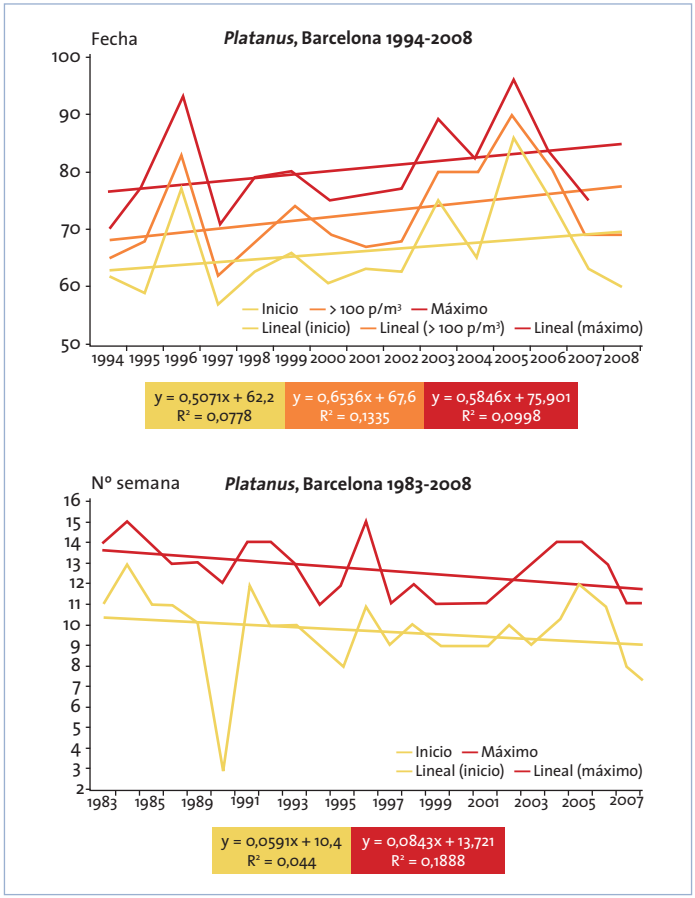


Figura 85. Fechas de inicio de la polinización del plátano, por días (izquierda) o por semanas en los periodos de 1994-2008 y de 1983-2008.
Fuente: www. lap. uab.cat/aerobiologia/.../Polinosis_III_03_ Cambio_ climatico_y_aerobiologia_polen.pdf.

2008 y, tras analizar el inicio, el día pico y la gravedad de la estación polínica durante un tiempo variable según la estación, demostró que se está produciendo un adelanto en el inicio y en el día pico de la estación polínica y un aumento en el índice anual de polen y en la intensidad de la estación (número de días que se superan los 25 granos de polen/m^3).

En el congreso de la Academia Europea de Alergia e Inmunología Clínica (EAACI, por sus siglas en inglés) de 2015 se presentó un póster sobre la polinización de las gramíneas en la ciudad de Madrid en un periodo de 36 años (1979-2015). Los autores comprobaron que en el mes de mayo las concentraciones son cada vez más elevadas (tendencia no significativa) y aparecen con más brusquedad y simultaneidad conforme las temporadas son más calurosas[107]. Por el contrario, observaron unas cifras de polen totales anuales menores, probablemente por el importante crecimiento de la ciudad en ese intervalo de tiempo, que condiciona menos superficie de campos de gramíneas. Además, en los meses de junio más calurosos observaron un agotamiento precoz en la polinización que tuvo como consecuencia menores concentraciones de polen ese mes **(fig. 86)**.

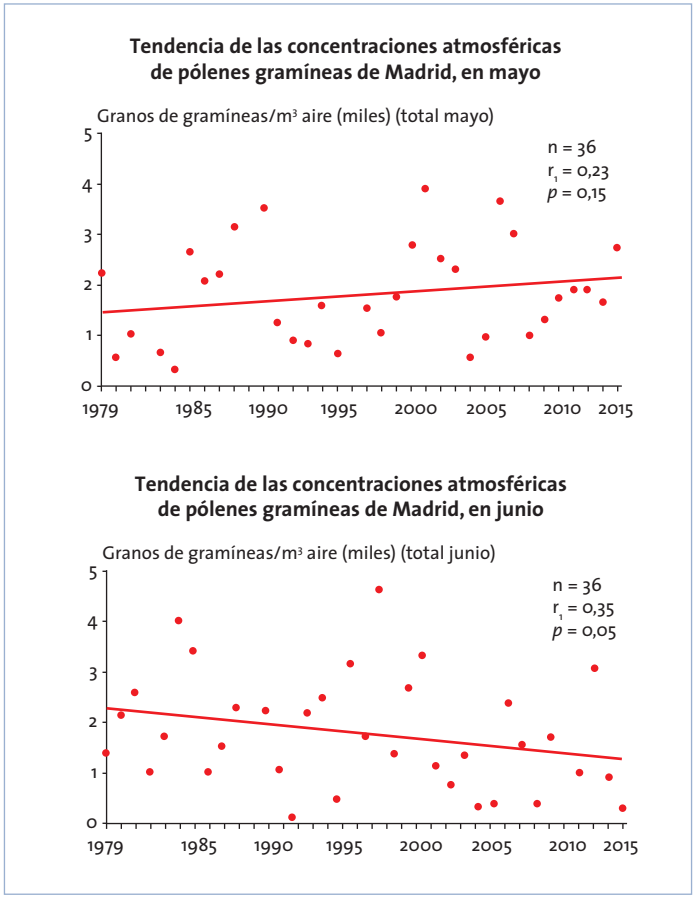


Figura 86. Tendencias en las concentraciones de polen atmosférico de gramíneas en Madrid durante 35 años.

Fuente: http://www.clinicasubiza.com/Referencias/Noticias/tabid/68/Entryld/1059/language/es-ES/Default.aspx

9.3.3. Fenómenos extremos, cambio climático y síntomas alérgicos

En la actualidad, uno de los aspectos más debatidos en el mundo de la meteorología aborda la posibilidad real de un aumento de las tormentas asociado al cambio climático, debido, entre otras razones, al importante impacto económico que pueden tener (pérdidas económicas importantes en Estados Unidos del orden de 7.000 a 11.000 millones de dólares en 2012). Estudios recientes[107] sobre los dos ingredientes principales atmosféricos que pueden contribuir la formación de tormentas apuntan lo siguiente: energía potencial convectiva disponible (CAPE), producida cuando el aire en la atmósfera se calienta desde niveles más bajos y asciende arrastrando la humedad a altitudes superiores) y el efecto de la cizalladura vertical del viento (cambio de la velocidad del viento con la altura) han demostrado que la reducción de cizalla cae cuando baja la CAPE, y viceversa, lo que significa que la frecuencia total de ocurrencia de los entornos de tormentas graves aumenta como resultado del calentamiento global. En los meses de primavera, las tormentas graves aumentan hasta el 40% en el este de Estados Unidos, aunque los modelos no llegan a predecir la generación de tornados importantes. Sin embargo, la tendencia a un mayor riesgo de formación de fenómenos tormentosos puede aumentar las condiciones que incrementan la agresividad del polen por la rotura osmótica que sufre y, por lo tanto, la posible aparición de epidemias de asma alérgico, ya documentada desde la dé-

cada de 1980[108,109]. Desde la primera descrita en Birmingham, se han dado más epidemias en Londres, Estados Unidos, Australia, Nápoles y Madrid. Si bien todas las tormentas se produjeron en la época de polinización de las gramíneas, es importante resaltar que no todas las tormentas van seguidas de epidemias de asma, ni toda epidemia de asma va precedida de una tormenta.

9.4. Resumen

Ya sea por la acción antrópica o por otros factores, el clima en el planeta está cambiando hacia un aumento en la temperatura global que parece estar acelerándose en los últimos 30 años. Sin duda, esto afectará a los seres vivos, en concreto las plantas alergénicas o no ya están respondiendo adelantando e incrementando la polinización.

En Europa *Alnus, Quercus y Betula* han adelantado su floración principalmente a principios de primavera y verano y, a la vez que *Juniperus*, la han aumentado.

Las urticáceas prolongan su polinización y *Chenopodium*, *Olea*, *Platanus spp.* y *Artemisia* adelantan su floración. Por otra parte, la presencia de esporas de hongos es superior y más prolongada.

La disposición geográfica de la península Ibérica condiciona que nuestro país sea uno de los más vulnerables al cambio

climático y los estudios en plantas de poder alergénico como *Platanus*, *Cupressus*, *Poaceae* y *Quercus* demuestran un efecto similar, que puede estar condicionado por el intervalo de tiempo de estudio.

El efecto de un potencial aumento de fenómenos extremos con toda probabilidad afectará a la dinámica aeropalinológica.

10

CONTAMINACIÓN Y POLINOSIS

10. CONTAMINACIÓN Y POLINOSIS

10.1. Contaminación y clima

La modificación de la composición de la atmósfera por el hombre o por la naturaleza altera la calidad del aire causando cambios en el clima debido a las modificaciones en el equilibrio entre la energía absorbida por la tierra y la liberada por la atmósfera, que en gran parte está regulada por la acción de los gases de efecto invernadero emitidos de forma natural. Esta variación se puede dar a dos escalas: locorregional/larga distancia, en la que el deterioro de la calidad del aire o el aporte de determinados contaminantes pueden tener repercusiones negativas sobre los ecosistemas y la salud; y global, en la que el aporte de contaminantes específicos o la destrucción de determinados componentes atmosféricos pueden alterar el balance radiactivo terrestre y, por ello, in-

ducir cambios en el clima[110]. En la actualidad, la mayor parte de la contaminación urbana procede de la combustión de carburantes del tráfico rodado de vehículos, fundamentalmente de motores diésel; se generan productos nocivos para la salud como el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno, benceno y partículas de escape diésel.

10.2. Contaminación y vía respiratoria

Los contaminantes que tienen un contrastado efecto inflamatorio sobre la vía aérea son:

1. Dióxido de nitrógeno (NO_2) procedente de la reacción entre la luz solar y los hidrocarburos derivados de las combustiones industriales y de los motores en general. Su producción aumenta con la temperatura de combustión. Es capaz de generar alteraciones de la función respiratoria en pacientes con asma, por su poder oxidativo sobre las células epiteliales, alterándolas y aumentando los niveles de citocinas proinflamatorias[111].
2. El ozono procedente de una reacción fotoquímica entre las radiaciones ultravioletas y el NO_2. Es un potente oxidante y uno de los contaminantes más importantes de las ciudades soleadas y con altos niveles de contaminación. El ozono tiene efectos inflamatorios importantes sobre las vías respiratorias y provoca un aumento de la reactividad bronquial frente a agentes broncoconstrictores específi-

cos e inespecíficos y, por ello, una disminución de la capacidad pulmonar[112].

3. Las partículas de escape diésel (PED). Son una mezcla de componentes sólidos y líquidos, distinguibles por su tamaño en finas (2,5-0,1 µm.) procedentes de la emisión directa de procesos de combustión (madera, gasolina o diésel, carbón o procesos industriales) y ultrafinas (<0,1 µm.) generadas en procesos industriales y urbanos, emisiones de vehículos y reacciones fotoquímicas atmosféricas.

   La característica principal de las emisiones diésel es que se producen partículas en una proporción 20 veces superior a la de los motores de gasolina. La mayor parte de la materia particulada tiene entre 0,02 y 0,5 µm (un micrómetro es la milésima parte de un milímetro). Las partículas que tienen un diámetro menor a 10 micrómetros se denominan PM10 y así sucesivamente según sus menores tamaños. Las partículas más grandes son visibles como humo y caen relativamente pronto, mientras que las partículas más pequeñas pueden permanecer suspendidas en el aire largos períodos de tiempo y son las más dañinas para la salud porque pueden penetrar profundamente en los pulmones.

   Las PED constituyen el 90% de las partículas ambientales y están formadas por un núcleo de carbón sobre el que se depositan hasta 18.000 componentes orgánicos de alto peso molecular, con un tamaño que oscila entre

0,1 y 2,5 µm. En los últimos años ha aumentado mucho la contaminación por diésel, además de por las calderas de calefacción, sobre todo por el parque automovilístico, que ha pasado de ser del 20% a inicios de la década de 1990, al 70% en 2005 y al 71% hoy en día **(fig. 87)**.

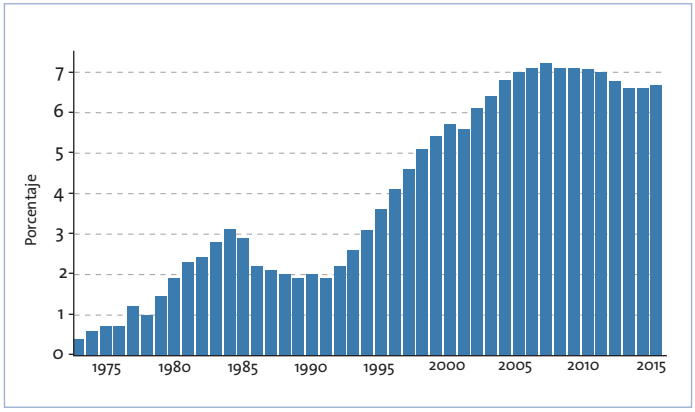


Figura 87. Evolución del parque automovilístico de motores diésel en España. *Fuente ANFAC. Barómetro sobre Seguridad Vial y Medio Ambiente, documento de diciembre 2013.*

4. El monóxido de carbono puede causar la muerte cuando se respiran niveles elevados por la formación de carboxihemoglobina, que reduce la capacidad de la sangre para transportar oxígeno, mientras que los efectos crónicos pueden afectar al corazón y causar daño al sistema nervioso y riesgo durante el embarazo de efectos adversos

para el feto. Fumar aumenta su exposición y puede agravar las afecciones respiratorias causadas por la exposición química. La exposición diaria a 34,4 mg/m^3 (30 ppm) de monóxido de carbono es equivalente a fumar 20 cigarrillos al día. Concentraciones de 0-229 mg/m^3 (0-200 ppm) producen ligero dolor de cabeza en algunos casos.

Las consecuencias del creciente desarrollo industrial y el aumento de la población en núcleos urbanos sobre el medio ambiente con graves repercusiones sobre la salud se conocen desde hace más de 70 años. Episodios de contaminación del valle del Mosa, Bélgica (1931), Donora, Pensilvania, Estados Unidos de América (1948) y Londres (1952) demostraron una fuerte asociación entre exposiciones extremadamente elevadas a partículas y/o bióxido de azufre y un aumento de la morbimortalidad cardiovascular y respiratoria en ciudades con elevados niveles de contaminación[113,114].

Respecto al asma bronquial, a excepción de las inferiores prevalencias de países de la Europa del Este y China a pesar de sus elevadas tasas de contaminación, probablemente por factores genéticos o raciales no tenidos en cuenta, hoy día no admite discusión que es una enfermedad más frecuente en los países industrializados con más contaminación que en los subdesarrollados o en áreas rurales[115]. Estudios de Seattle[116] y de Ciudad de México[117] demuestran aumentos en el número de hospitalizacio-

nes por asma y descensos en la función pulmonar en los asmáticos y en la población general relacionados con la presencia de niveles elevados de contaminación.

10.3. Contaminación y polinosis

A nivel regional se apuntan cambios en la distribución y poder alergénico de las plantas, así como modificaciones en la circulación atmosférica del polen y las esporas presentes en el polvo atmosférico. Esto podría dar lugar a su presencia en nuevas áreas donde la población quedaría expuesta a nuevos alérgenos. Un estudio del registro del IPA (índice de polen anual o suma de las concentraciones medias diarias de polen durante todo el año), realizado en el periodo 1994-2009, muestra una tendencia hacia una mayor presencia de polen de procedencia arbórea y en menor medida del procedente de las plantas herbáceas[118]. Por lo tanto, los efectos de la contaminación sobre el polen pueden plantear la hipótesis de que la misma presencia de polinosis en población general pudiera ser en un indicador indirecto del efecto del cambio climático sobre la salud pública.

Se sabe desde la década de 1990 que la prevalencia de las enfermedades alérgicas es superior en los países industrializados[119] y desde entonces no han cesado los esfuerzos por demostrar la influencia de la exposición a partículas biológicas, componentes químicos y desechos industriales en su desarrollo. El efecto no solo se produce sobre la vía respirato-

ria, sino también sobre el propio polen modificando su fenología y su agresividad alergenizante. En resumen, los efectos de los contaminantes sobre el polen son:

1. Transporte de partículas polínicas procedentes del polen u otras partes de la planta.
2. Aumento de la alergenicidad del polen, potenciando su reactividad y actuando como coadyuvantes de la respuesta inmune. Un estudio comparativo sobre la potencia alergénica del polen de los cipreses expuestos a contaminantes vs. no expuestos desarrollado en nuestro país demostró que el de los árboles de las autovías de zonas contaminadas multiplica por cinco su actividad alergénica respecto al de zonas residenciales, tanto por ser más reactivo mediante estudio de pruebas cutáneas, como por estudio de *immunoblotting* o inhibición[120]. La explicación de este hecho se debe a que las plantas estresadas por virus, hongos, bacterias, ozono, polución, sequía, heladas, etc. expresan en sus pólenes unas proteínas relacionadas con la patogénesis (PR-5), en este caso *Cup* a 3, que es el segundo alérgeno mayoritario de *Cupressus arizonica* y que contribuye de forma notoria al aumento de su alergenicidad[120]. En la misma línea de investigación, un reciente estudio realizado en la industriosa ciudad de Puertollano demuestra que en este entorno, la alergenicidad del polen de *Lolium* es superior al de Ciudad Real, cuyos niveles de contaminación son significativamente inferiores[121].

3. Potenciación de la producción polínica. Se ha demostrado que los niveles de polen de la *Ambrosia* han aumentado en paralelo al incremento del CO_2[122].

   Los efectos sobre la vía respiratoria se basan en la inducción de un estrés oxidativo sobre el epitelio que provoca una respuesta inflamatoria capaz de desencadenar síntomas en enfermos alérgicos[111,112]. Niveles elevados de SO_2, CO o partículas contaminantes (<10 µm o PM10 y <2,5 µm o PM2,5) derivadas entre otros de la combustión diésel inducen inflamación bronquial e incrementan la hiperrespuesta a aeroalérgenos, bien por adhesión a la superficie o por la liberación de partículas paucimicrónicas, actuando como adyuvantes y aumentando la respuesta alérgica al polen[123]. Un estudio cuantifica el efecto multiplicador de alergenicidad de los pólenes por las partículas diésel en hasta 27 veces[124].

10.4. Resumen

La contaminación urbana procedente fundamentalmente de motores diésel puede alterar el equilibrio radiactivo terrestre y, por ello, inducir cambios en el clima y deteriorar, además, la calidad del aire que puede repercutir en los ecosistemas y la salud.

El monóxido de carbono ejerce efectos crónicos que pueden afectar al corazón y causar daño al sistema nervioso.

El dióxido de nitrógeno (NO_2), el ozono y las partículas de escape diésel (PED) ejercen un poder oxidativo sobre las células epiteliales y las inflama.

La contaminación parece aumentar la agresividad del polen alergénico ya que hace de vehículo de partículas polínicas, aumenta su alergenicidad y potencia la producción polínica.

11

MEDIDAS PARA FRENAR EL PROCESO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

11. MEDIDAS PARA FRENAR EL PROCESO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

11.1. Antecedentes

El cambio climático es un problema ambiental muy complejo y con consecuencias en todos los ámbitos de la existencia en nuestro planeta, cuya clave de respuesta es la necesidad de reducir las emisiones de los gases de efecto invernadero. Por ello las estrategias han de ser internacionales. A tal fin, en 1992 en la Cumbre de la Tierra de Rio de Janeiro, los países se adhirieron a un tratado internacional, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)[125]. Su objetivo fundamental iba a ser establecer una serie de estrategias orientadas a limitar el aumento de la temperatura mundial y el consiguiente cambio climático y hacer frente a sus consecuencias. Tres años después los

firmantes reconocieron que las disposiciones en materia de reducción de las emisiones recogidas en la convención no eran suficientes. Por lo tanto, iniciaron negociaciones para reforzar la respuesta mundial al cambio climático y, en 1997, adoptaron el Protocolo de Kyoto[125]. Este vincula jurídicamente a los países desarrollados a los objetivos de reducción de emisiones de los seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global: dióxido de carbono (CO_2), gas metano (CH_4) y óxido nitroso (NO_2), hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF_6), en un porcentaje de al menos el 5%, dentro del periodo que va de 2008 a 2012, en comparación a las emisiones en 1990. Sin embargo, el protocolo no entró en vigor hasta el 16 de febrero de 2005 y fue ratificado por 187 Estados en noviembre de 2009, con excepciones significativas como Estados Unidos y China. En 2010, los Gobiernos acordaron que era necesario reducir las emisiones, de forma que se limitara el aumento de la temperatura mundial a menos de 2 °C. La 18ª Conferencia de las Partes (COP 18) sobre cambio climático ratificó el segundo periodo de vigencia del Protocolo de Kyoto desde el 1 de enero de 2013 hasta el 31 de diciembre de 2020, para obtener resultados más ambiciosos. En la actualidad, es una incógnita cuál será el efecto de las estrategias establecidas en estos acuerdos.

11.2. Costes del cambio climático

El *informe Stern*[126] establece con una probabilidad del 77% (hasta el 99%, dependiendo del modelo climático utilizado), que en los próximos 50 años aumentará la temperatura media global en 2 o 3 °C (respecto al periodo prerrevolución industrial, 1750-1850). Para este rango, el coste equivaldría a una pérdida permanente del producto interior bruto (PIB) mundial del 0-3%, comparado con el que se habría conseguido sin la existencia del cambio climático y tales cifras aumentarían al 5-10%, si el aumento fuera de 5 a 6 °C, en un siglo. Su principal conclusión es que los beneficios de la adopción de medidas rápidas para frenar el cambio climático superarán con creces los costes del mismo, entre los que el Banco Mundial estima que sobre el 35% estarán relacionados directamente con la salud, con una tendencia creciente no tanto por las muertes, sino por las hospitalizaciones[127].

11.3. Medidas implementadas para limitar la producción de contaminantes

Aunque expertos a nivel mundial afirman que en la actualidad no hay información suficiente para establecer el valor de umbral de exposición a contaminantes bajo el cual no se den efectos sobre la salud, estudios recientes sugieren que niveles bajos de partículas suspendidas, ya sean en concentraciones de menos de 100 µg/m^3 o PM10 por debajo de los límites máximos permisibles, se asocian con efectos deletéreos sobre la salud[122].

Las evidencias actuales han llevado a poner en marcha una serie de medidas y programas de control y prevención de la contaminación, gracias a los cuales la calidad del aire ha mejorado en muchas ciudades del mundo. En varios países se han establecido normas de calidad del aire para este tipo de partículas y otros contaminantes, así como mecanismos de respuesta y programas de prevención para asegurar mejoras en la calidad del aire, estableciéndose unos límites máximos de permisividad **(tabla 9)**.

Tabla 9. Límites máximos permisibles para partículas suspendidas en México, Estados Unidos y Unión Europea

País	Base para la regulación	Límite para PM10 (μg/m³)	Límite para PM2,5 (μg/m³)
México	24 h	50	–
Media aritmética anual	150	–	–
Estados Unidos			
Federal	24 h	150	65
Media aritm ética anual	50	15	–
California	24 h	50	–
Media geométrica anual	20 a	12 a	–

(Continúa)

(Continuación)

Tabla 9. Límites máximos permisibles para partículas suspendidas en México, Estados Unidos y Unión Europea

País	Base para la regulación	Límite para PM10 (μg/m³)	Límite para PM2,5 (μg/m³)
Unión Europea			
2005	24 h	50	a
	Media aritmética anual	40	b
2010	24 h	50	b
	Media aritmética anual	20	b

Fuente: CARB 2002 Consejo de la Unión Europea 2002 HEI 2002, Secretaría de Salud 1994. a: a partir de enero de 2003; b: si bien no se establecen límites máximos permisibles para PM2,5, sí se establecen requisitos de monitorización, medición y procesamiento de información de la concentración de partículas finas en los Estados miembro, así como programas de reducción de concentración de PM2,5 en el ambiente, independientemente de los niveles registrados.

11.3.1. Red de estaciones de vigilancia de la calidad del aire

En nuestro país se ha implementado a lo largo del territorio una red de estaciones de vigilancia de la calidad del aire autonómica y local, encargadas de medir los niveles de concentración de cada uno de los contaminantes que se encuentran en el aire.

Estas estaciones, además, miden el ruido y otros parámetros meteorológicos como la velocidad y la dirección del viento, temperatura, humedad relativa, presión, lluvia y radiación solar, los cuales ayudan a la interpretación de los datos de concentración obtenidos. De igual forma, existe la Red EMEP/VAG/CAMP, que es gestionada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente a través de la Agencia Estatal de Meteorología, que realiza un seguimiento de la calidad del aire a escala regional lejos de fuentes contaminantes. Se pueden consultar los datos de esta red en www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/contaminacionfondo

Para poder informar a los ciudadanos fácilmente y de manera resumida del estado de la calidad del aire según los datos obtenidos en dichas redes de vigilancia se utiliza el **í**ndice de calidad del aire (ICA). El cálculo del ICA se realiza según el modelo desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental (EPA), el cual consta de un algoritmo de cálculo para la obtención de los subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire. Este algoritmo involucra la utilización de funciones segmentadas basadas en dos puntos (rango). La ecuación será calculada para cada contaminante criterio, y se comunica el mayor valor del índice que se obtenga **(fig. 88)**.

$$ICA = \frac{I_{HI} - I_{LO}}{BP_{HI} - BP_{LO}} * (C_i - BP_{LO}) + I_{LO}$$

ICA = Índice de calidad del aire.
$\mathbf{I_{LO}}$ = Valor del índice en el límite inferior de la categoría del ICA.
$\mathbf{I_{HI}}$ = Valor del índice en el límite superior de la categoría del ICA.
$\mathbf{BP_{LO}}$ = Punto de quiebre de la concentración en el límite inferior de la categoría del ICA.
$\mathbf{BP_{HI}}$ = Punto de quiebre de la concentración en el límite superior de la categoría del ICA.
$\mathbf{C_i}$ = Concentración del contaminante.

Figura 88. Algoritmo de cálculo para la obtención de los subíndices correspondientes a diferentes indicadores de la calidad del aire.

El ICA es un dato que informa de manera sencilla al público en general del estado de la calidad del aire que respiramos, transformando los datos obtenidos en las redes de vigilancia en un indicador orientativo de la calidad del aire en un día y en una estación de medida en concreto.

El ICA resultante del día viene determinado por aquel contaminante que nos da la concentración con más incidencia negativa sobre la salud de las personas. Es importante entender que el ICA no es el resultado de hacer una media de una serie de valores, sino que es una cifra que pondera la aportación de la concentración medida de cada uno de los contaminantes a la calidad del aire.

Atendiendo a los valores obtenidos del ICA, se puede clasificar la calidad del aire en tres categorías y seis subniveles. Los subniveles se pueden indicar usando un código de color **(tabla 10)**.

11.3.2. Estrategias para mejorar la calidad del aire

Las estrategias deben llevarse a cabo en varias vertientes:

1. Medidas individuales como ajustar eficientemente la calefacción o el aire acondicionado, comprar electrodomésticos ecológicos de la clase A, en las cisternas poner bolsas de plástico o botellas llenas de agua para consumir menos, usar bombillas de bajo consumo, reciclar la basura, utilizar transporte público y vehículos sin motor, caminar, etc.
2. Las Administraciones locales deben fomentar estrategias de información y recuerdo para potenciar las de tipo individual y los recursos renovables, la repoblación forestal, respetar los bosques, reducir la contaminación, la depuración y la investigación de procesos de producción menos contaminantes.
3. Las Administraciones estatales deben legislar para sustituir los carburantes por otros más baratos y ecológicos, legislar sobre el empleo de catalizadores y filtros de partículas, la electrificación del transporte, la disminución del uso del vehículo de motor individual por los modos colectivos y, en general, toda la gama de soluciones favorables a lo que se viene denominando movilidad sostenible.

Tabla 10. Valores del índice de calidad del aire (ICA)

ICA	Color	Clasificación	O3 8 h ppm	O3 1 h ppm	PM10 24 h mg/m³	$PM_{2,5}$ 24 h mg/m³	CO 8 h ppm	SO_2 24 h ppm	NO_2 1 h ppm
0-50	Verde	Buena	0,000 0,059	–	0 54	0 12	0 4,4	0 0,035	0 0,053
51-100	Amarillo	Moderada	0,060 0,075	–	55 154	12,1 35,4	4,5 9,4	0,036 0,075	0,054 0,100
101-150	Naranja	Dañina para la salud de grupos sensibles	0,076 0,095	0,125 0,164	155 254	35,5 55,4	9,5 12,4	0,076 0,185	0,101 0,360
151-200	Rojo	Dañina para la salud	0,096 0,115	0,165 0,204	255 354	55,5 150,4	12,5 15,4	0,186 0,304	0,361 0,649
201-300	Púrpura	Muy dañina para la salud	0,116 0,374	0,205 0,404	355 424	150,5 250,4	15,5 30,4	0,305 0,604	0,650 1,249
301-400	Marrón	Peligrosa	–	0,405 0,504	425 504	250,5 350,4	30,5 40,4	0,605 0,804	1,250 1,649
401-500	Marrón	Peligrosa	–	0,505 0,604	505 604	350,5 500,4	40,5 50,4	0,805 1,004	1,650 2,049

Fuente: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358007/Contenido_en_linea_Caraterizacion/leccin_24_concepto_del_ndice_de_calidad_del_aire_ica.html.

Los jefes de Estado de la UE acordaron en 2007 una reducción del 20% de las emisiones de los gases de efecto invernadero para 2020. En 2009 China anunció también sus propios objetivos climáticos para lentificar al menos sus emisiones. Los vehículos diésel podrían ayudar a China a conseguir sus ambiciosos objetivos climáticos: solo con que el 30% de los vehículos de pasajeros de China fueran de gasóleo modernos, este país reduciría sus emisiones de CO_2 en 54,6 millones de toneladas hasta 2020, equivalente a las emisiones totales anuales de Suiza.

En este sentido, en nuestro país el volumen de emisiones de CO_2 en los turismos de gasóleo se encuentra en su nivel más bajo desde que existen registros precisos sobre este parámetro medioambiental. Durante la última década se distinguen dos fases en la evolución de las emisiones de CO_2:

1. Entre 2002 y 2007 los valores medios de emisión de CO_2 experimentaron un aumento de más de 2 g/km, debido, sobre todo, al auge de los grandes utilitarios urbanos (todoterrenos, monovolúmenes).
2. A partir de 2008, con el inicio de la nueva fiscalidad ligada a las emisiones de CO_2, se ha producido un descenso muy pronunciado en los valores promedio (15,6%) hasta los 131,5 g/km actuales.

El promedio de emisiones de CO_2 de los turismos diésel matriculados en el año 2012 en España es el 15,6% menor que hace 5 años.

Al margen de los recientes escándalos de trucaje del *software* que gestiona la emisión de contaminantes por parte de algún fabricante, cuyo impacto está por determinar, el esfuerzo global de la industria del automóvil por la fabricación de motores cada vez más eficientes y con menor consumo ha hecho posible una notable reducción de los valores de emisión de CO_2 registrados en España durante los últimos años, especialmente en el mercado de vehículos diésel. En concreto, ya se ha conseguido que los turismos de gasóleo actuales emitan, de promedio, el 21% menos partículas en suspensión que hace tan solo cinco años. La normativa actual en materia medioambiental también es estricta en cuanto a la reducción de emisiones de otro conjunto de gases de escape no causantes del efecto invernadero generados por los vehículos de propulsión térmica. En el caso de los vehículos diésel, debe prestarse atención a los hidrocarburos no quemados y a los óxidos de nitrógeno (NOx, especialmente el NO_2). Hoy en día un vehículo diésel nuevo emite el 50% menos hidrocarburos y NOx que hace 10 años.

11.4. Normas de calidad del aire respecto al polen

El contenido atmosférico de polen no está ni puede estar regulado mediante instrumentos legales como ocurre con la contaminación atmosférica, puesto que se trata de una emisión, en gran parte, natural.

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", pero excluye de su ámbito de aplicación a los "contaminantes biológicos", entre los que cabría incluir al polen. Es decir, en lo que se refiere al polen y las esporas atmosféricas, en ningún sitio existe una normativa que fije unos valores límite, objetivo o umbrales de alerta.

11.4.1. Propuestas

De forma similar a lo que sucede con los contaminantes, la mayoría de las propuestas son temas de investigación dirigidos a posibilitar estrategias o medidas de adaptación tales como:

1. Vigilancia de aeroalérgenos, garantizada por el funcionamiento continuado de las redes aerobiológicas que generan la información para poder disponer de series temporales de datos suficientemente amplias que permitan realizar predicciones, analizar tendencias y evidenciar los posibles impactos del cambio climático sobre alérgenos atmosféricos y como sistema de información en salud a pacientes y profesionales sanitarios.
2. Desarrollo y aplicación de sistemas de predicción local, a corto y medio plazo, de diversos parámetros aerobiológi-

cos como puede ser el inicio de la estación polínica o las concentraciones medias diarias, para los tipos polínicos y las esporas fúngicas de mayor relevancia clínica (gramíneas, olivo, plátano, cupresáceas, *Alternaria*, *Cladosporium*) que permitan identificar situaciones de riesgo antes de que estas se produzcan, así como diseñar sistemas de alerta.

3. Desarrollo y aplicación de modelos de dispersión y procedencia del polen y las esporas atmosféricas, para intentar conocer la trayectoria seguida por estas partículas desde su producción y emisión a la atmósfera hasta su posterior dispersión y transporte. Este conocimiento es útil para saber el riesgo de que se produzcan situaciones extremas como elevaciones bruscas o no habituales de la concentración atmosférica de determinados tipos polínicos ocasionadas por el trasporte desde otras regiones y que pueden constituir un riesgo de exposición para la población a nuevos alérgenos.

4. Desarrollo de estudios de epidemiología ambiental sobre las afecciones alérgicas respiratorias inducidas por polen y esporas, que consideren también factores meteorológicos y aeroalérgenos para poner en evidencia que el cambio climático predicho puede ejercer su influencia en los aeroalérgenos y en las alergias respiratorias.

5. Acciones encaminadas al control de las plantas productoras de polen alergénico, principalmente en dos direcciones:

- Limpieza y erradicación de los espacios urbanos de plantas herbáceas productoras de polen alergénico.
- Conocido el importante aporte polínico de la flora ornamental a la atmósfera y el impacto que tiene en la calidad del aire y en la salud de un porcentaje elevado de la población, desarrollar iniciativas para que los responsables de la gestión de los espacios verdes urbanos tengan en cuenta este aspecto a la hora de planificarlos, modificarlos y mantenerlos. En este sentido son de gran utilidad los visores de polen o los registros de bases de datos de árboles presentes en la vía pública de las ciudades.

6. Estudios encaminados a mejorar la información y su difusión a pacientes y sectores asistenciales, sobre los riesgos ambientales debidos a los aeroalérgenos.

11.5. Resumen

La toma de conciencia por parte del ser humano de la dimensión de los potenciales efectos a nivel global que el cambio climático puede condicionar en nuestro planeta cristalizó en 1992 con la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, donde los países se adhirieron a un tratado internacional, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

A partir de ese momento se establecieron una serie de estrategias globales para conocer la dimensión de los costes económicos, ecológicos y medioambientales del cambio climático, así como la implementación de medidas de control de los efectos (redes de estaciones de vigilancia de la calidad del aire, etc.) y la implementación de actuaciones para frenar su progresión.

Respecto al polen, no existe una normativa que fije unos valores límite, objetivo o umbrales de alerta, por lo que la mayoría de las propuestas son temas de investigación dirigidos a posibilitar estrategias o medidas de adaptación como vigilancia de aeroalérgenos, predicciones, control de las plantas productoras de polen alergénico, etc.

12

BIBLIOGRAFÍA

12. BIBLIOGRAFÍA

1. Blackley CH. Experimental researches on the causes and nature of Catarrhus Aestivus (Hay fever or Hay asthma), 1873: 1-202. (Reprinted by Dawson's. London. 1959).
2. Comtois P. Historical biography. Pierre Miquel: the first professional aerobiologist. Aerobiologia 1997; 13: 75-82.
3. Miquel P. Les organismes vivants dans l'atmosphère. Gauthier-Villars, Paris, 1883: 310 pp.
4. Hirst JM. An automatic volumetric spore trap. Ann Appl Biol 1952; 39: 257-265.
5. Tortajada, B. (2003)[5]. Estudio del polen atmosférico de Cupressaceae en la atmósfera de Valencia y su relación con los parámetros meteorológicos. Trabajo de Investigación de Suficiencia Investigadora. Dpto. Botánica. Facultad de Biología. Universidad de Valencia.
6. Erdtman G. (1969). Handbook of Palynology. Munksgaard, Copenhagen, Denmark.
7. Sáenz C. (2004). Glosario de términos palinológicos. Lazaroa, 25: 93-112.

8. Valdés B, Díez MJ, Fernández I. (eds.) (1987). *Atlas polínico de Andalucía Occidental*. Inst. de desarrollo Regional de la Universidad de Sevilla. Excma. Diputación de Cádiz. Sevilla. 450.
9. Tormo R. 1984. Morfología del polen. En: Domínguez E, Ubera JL, Galán C. Polen alergógeno de Córdoba. Publicaciones del Monte de Piedad y Caja de Ahorros de Ronda. Córdoba.
10. Gómez-Casero MT, Hidalgo PJ, García-Monzo H, Domínguez E., Galán, C. Pollen biology in four Mediterranean Quercus species. Grana 2004; 43: 22-30.
11. Prieto-Baena JC, Hidalgo PJ, Dominguez E, Galán C. Pollen production in the Poaceae family. Grana 2003; 42: 153-160.
12. Bassani M, Pacini E, Franchi G. Humidity stress responses in pollen of anemophilous and entomophilous species. Grana 1994; 33: 146-150.
13. Schimdt FH (1973). Some aspects of the transport process in the atmosphere. Scandinavian Aerobiology, Bulletins from the Ecological Research Committee.
14. Rodriguéz FJ (2000). El polen como fuente de contaminación ambiental en la ciudad de Vigo. Tesis Doctoral. Universidad de Vigo.
15. Izquierdo R, Belmonte J, Ávila A, Alarcón M, Cuevas E, Alonso-Pérez S. Source areas and long-range transport of pollen from continental land to Tenerife (Canary Islands). Int J Biometeorol 2011; 55, 67-85.
16. Belmonte J, Alarcón M, Ávila A, Scialabba E, Pino D. Long range transport of beech (Fagus sylvatica L.) pollen to Catalonia (north-eastern Spain). Int J Biometeorol 2008 52(7): 675-87.
17. Munuera M, Carrión JS, Navarro C, Orts L, Espín A, Sáez F, et a. (2001). Polen y alergias. Guía de las plantas de polen alergógeno de la Región de Murcia y España. Ed. Diego Marín, Murcia (España).
18. Strahler AN, Strahler AH. (2000). Geografía física. Ed. Omega. 550 pp.
19. Mandrioli P. Comtois & V. Levizzani (eds). Methods in Aerobiology. Ed. Pitagora Editrice. Bologna. Italy.1998 1-12.

20. Lindgren D, Paule L, Xihuan S, Yazani R, Segerstrom U, Wallim JE, et al. Can viable pollen carry Scots pine genes over long distances? Grana, 1995; 34: 64-69.
21. Tampieri F, Mandrioli P, Puppi GL. Medium range transport of airborne pollen. Agricultural meteorology 1977; 18: 9-20.
22. Hirst JM. An automatic volumetric spore-trap. Annals of Applied Biology 1952; 36: 257-265.
23. Cariñanos P, Emberlin J, Galán C, Domínguez E. Comparison of two pollen counting methods of slides from a Hirst type volumetric trap. Aerobiologia 2000; 16: 339-346.
24. Comtois P, Alvazar P, Neron D. Pollen count statistics its relevance to precision. Aerobiologia 1999; 15: 19-28.
25. Katelaris CH, Burke TV, Byth K. 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 2004; 93(2): 131-6.
26. Galán C, Cariñanos, P, Alcazar P, Domínguez E. (2007). Manual de calidad y gestión de la Red Española de Aerobiología. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba.
27. Galán I, Cervigón P. 2009. Epidemiología del asma primaveral por polen de gramíneas. En: Quirce S, Quiralte J (eds.). Las bases alérgicas del asma. Capítulo VI: 6777. MRA ediciones.
28. Khaltaev N, Cruz AA, Denburg J, Fokkens WJ, Togias A et al. Allergic Rhinitis and its Impact on Asthma (ARIA). Allergy 2008; 63 (86): 7-160.
29. Navarro A, Colás C, Antón E, Conde J, Dávila I, Dordel MT. Epidemiology of Allergic Rhinitis in Allergy. Consultations in Spain: Alergológica 2005. J Investig Allergol Clin Immunol 2009; 19(Suppl. 2): 7-13.
30. Sastre J. Alergológica Centro Resultados Regionales. Madrid: SEAIC-Alergia e Inmunología Abelló; 1994. p. 21-5.
31. ISAAC Steering Committee. World-wide variations in the prevalence of asthma symptoms: The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). Eur Respir J 1998; 12: 315-35.

32. ECRHS, European Community Respiratory Health Survey. Variations in the prevalence of respiratory symptoms, self-reported asthma attacks, and use of asthma medication in the European Community Respiratory Health Survey (ECRHS). Eur Respir J 1996; 9: 687-95.

33. Pollart SM, Chapman MD, Fiocco GP, Rose G, Platts-Mill TA. Epidemiology of acute asthma: IgE antibodies to common inhalant allergens as a risk factor for emergency room visits. J Allergy Clin Immunol 1989; 3:875-82.

34. Galán I, Prieto A, Rubio M, Herrero T, Cervigón P, Cantero JL, et al. Association between airborne pollen and epidemic asthma in Madrid, Spain: a case-control study. Thorax 2010; 65(5): 398-402.

35. Knox RB, Suphioglu C, Taylor P, Desai R, Watson HC, Peng JL, Bursill LA. Major grass pollen allergen Lol p 1 binds to diesel exhaust particles: implications for asthma and air pollution. Clin Exp Allergy 1997; 27: 246-51.

36. Instituto Nacional de Estadística. 2006. Encuesta de Morbilidad Hospitalaria.

37. Howath P. Is allergy increasing-early life influences? Clin Exp Allergy 1998; 28: 2-7.

38. Aberg, N. Asthma and allergic rhinitis in Swedish conscripts. Clin Exp Allergy 1989; 19: 59-63.

39. Arnedo A, García-Marcos L, García G, Aguinagua I, González VC, Morales M, et al. Tendencia temporal y variaciones geográficas de la prevalencia de síntomas de rinitis alérgica en escolares de 6-7 años de ocho áreas españolas, según ISAAC. An Pediatr (Barc). 2005; 3: 229-36.

40. Cadahía A, Valero L (2002). Prólogo. Polinosis. Polen y alergia. Mra ediciones, S. L.

41. Weeke ER, Spieksma FThM. Allergenic significance of Graminae (Poaceae). En: D'Amato, Spieksma FThM, Bonini S, eds. Allergenic pollen and pollinosis in Europe. London: Blackwell Scientific Publications; 1991. p. 109-12.

42. Bush RK. Aerobiology of pollen and fungal allergens. J Allergy Clin Immunol 1989; 84: 1120-4.

43. Oteros J, Orlandi F, García-Mozo H, Aguilera F, Dhiab AB, Bonofiglio T, et al. Better prediction of Mediterranean olive production using pollen-based models. Agronomy for sustainable development 2014; 34(3), 685-694.

44. Macchia L (1991). Allergenic significance of Oleaceae pollen. En: D'Amato, G, Spieksma F, Bonini S eds. In: Allergenic pollen and pollinosis in Europe. London Blackmell Scientific Publications; p. 87-93.

45. Florido JF, González P, Sáenz de San Pedro P, Quiralte J, Arias de Saavedra JM, Peralta V, et al. High levels of *Olea europaea* pollen and relation with clinical findings. Int Arch Allergy Immunol 1999; 41: 123-39.

46. Connell JT. Quantitativa intranasal pollen challenge. II Effect of daily pollen challenge, environmental pollen exposure, and placebo challenge on the nasal membrane. J Allergy 1968; 41: 123-39.

47. Cariñanos P, Alcázar P, Galán C, Domínguez E. Privet pollen (*Ligustrum sp.*) as potential cause of pollinosis in the city of Córdoba, south-west Spain. Allergy 2002; 57: 92-7.

48. Luengo O, Cadahia A. Polinosis por Parietaria. Rev Esp Alergol Inmunol Clin 2003; 18:61-85.

49. D'Amato GL, Cecchi S, Bonini C, Nunes I, Annesi-Maesano H, Behrendt G, et al. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. Allergy 2007; 62: 976-90.

50. Luengo Sánchez O. -2002- Cupresáceas. Cupressaceae. In: Polinosis. Polen y alergia. MRA ediciones S. L. Laboratorios Menarini S. A. Barcelona (España), pp. 139-42.

51. Shahali Y, Brazdova A, Calleja M, Charpin D, Senechal H, Poncet P. Indoor, long-term persistence of cypress pollen allergenic potency: a 10-month study. Ann Allergy Asthma Immunol 2013; 11:428-30.

52. Belmonte J, Canela M, Guardia R, Guardia RA, Sbai L, Vendrell M, et al. Aerobiological dynamics of the Cupressaceae pollen in Spain (1992-1998). Polen 2000; 10: 27-38.

53. Subiza J, Jerez M, Gavilán M, Varela S, Rodríguez R, Narganes MJ, et al. ¿Cuáles son los pólenes que producen polinosis epidémica en el medio urbano de Madrid? Rev Esp Alergol Inmunol Clín 1998; 13: 107-19.

54. Sánchez-López J, Asturias JA, Enrique E, Suárez-Cervera M, Bartra J. Cupressus arozonica pollen: a new pollen involved in the lipid transfer protein? J Invest Allergol Clin Immunol 2011; 21: 522-6.

55. Valero AL, Rosella E, Amat P, Sancho J, Roig J, Piulatsa J, et al. Hipersensibilidad a polen de Platanus acerifolia: detección de fracciones alergénicas. Rev Esp Alergol Inmunol Clin 1999; 14: 220-6.

56. Fernández-González M, Guedes AS, Abreu I, Rodríguez, Rajo FJ. Pla a 1 aeroallergen immunodetection related to the airbone *Platanus* pollen content. Sci Total Environ 2013; 463-464: 855-60.

57. Caillaud D, Martín S, Segala C, Besancenot JP, Clot B, Thibaudon M. Effects of airbone birch pollen levels on clinical symptoms of seasonal allergic rhinoconjunctivitis. Int Arch Allergy Immunol 2014; 163; 43-50.

58. López Rico A. Alergia a Betuláceas (*Betulaceae*). Rev Esp Alergol Inmunol Clín 2003; 18: 68-70.

59. Buters JT, Weichenmeier I, Chs S, Pusch G, Kreyling W, Boere AJ, et al. The allergen Bet v 1 in fractions of ambient air deviates from birch pollen counties. Allergy 2001; 65:850-8.

60. Von Wahl PG, Puls KE. The emission of mugwort pollen (Artemisia vulgaris) and their flight in the air. Aerobiologia 1989; 5: 55-63.

61. Spieksma FThM, Charpin H, Norland N, Stix E. City spore concentrations in the E.E.C. IV. Summer weed pollen (Rumex, Plantago, Chenopodiaceae, Artemisia). 1976 and 1977. Clin Allergy 1980; 10: 319-29.

62. Nilsson, S. & Praglowski, J. 1992. Erdtman's Handbook of Palynology. 2nd edition. Munksgaard, Copenhagen.

63. Navarro LA, Liñana JJ, Moreno I. Alergia a polen de pino. Journal of Invest Allergol Clin Immunol 2006; Suppl 2: 124.

64. Horner WE, Helbling A, Salvaggio JE, Lehrer SB. Fungal allergens. Clin Microbiol Rev 1995; 8: 161-79.

65. Belmonte J, Roure JM, Cadahia A. Espores a l'atmosfera de Catalunya. Ann Med (Barc) 1992; 1: 11-5.

66. Ponton J, Moragues MD, Gené J, Guarro J, Quindós G. Hongos y actinomicetos alergénicos. 1ª ed. Bilbao Revista Iberoamericana de Micología 2002.

67. Bartra J. Los hongos como alérgenos. En: Peláez A, Dávila C. Tratado de Alergología 1ª ed. Madrid: Ergon; 2007. p. 449-456.

68. Subiza E, Jerez M. Concentración de esporas de hongos en la atmósfera de Madrid (método volumétrico). En: Solé de Porta N y Suárez Cervera M. Actas del IV Simposium de Palinología (APLE). Barcelona: Publicacions i edicions de la Universitat de Barcelona. 1983.

69. Portillo J, Duce F, Colas C, Pérez J, Domínguez M. Relación entre las condiciones meteorológicas y la micoflora atmosférica en la ciudad de Zaragoza. Rev Esp Alergol Inmunol Clin 1990; 5: 114.

70. Gergen PJ, Turkeltaub PC. The association of individual allergen reactivity with respiratory disease in a national sample: data from second National Health and Nutritional Examination Survey. J Allergy Clin Immunol 1992; 90: 579-88.

71. Dales RE, Cakmak S, Judek S, Dann T, et al. Influence of outdoor aeroallergens on hospitalization for asthma in Canada. J Allergy Clin Immunol 2004; 113: 303-6.

72. Zureik M, Neukirch C, Leynaert B, Liard R, Bousquet J, Neukirch F. European Community Respiratory Health Survey. Sensitisation to airbone moulds and severity of asthma: cross sectional study from European Community Respiratory Health Survey. BMJ 2002; 325 (7361): 411-4.

73. González Minero FJ, Candau P, Cepeda JM. Presencia de esporas de Alternaria en el aire (SO de España) y su relación con factores meteorológicos. Rev Iberoam Micol 1994; 11: 92-5.

74. Bartra J. Aerobiologia d'espores d'Alternaria atmosfèriques i prevalença de sensibilització a Alternaria alternata en població amb rinitis i/o asma al.lèrgic a Catalunya. 2004. www.tdx.cesca/.es/tesis_uab/avaiable/tdx-0606105-181236/jbt1de4.pdf.

75. Troutt C, Levettin E. Correlation of spring spore concentrations and meteorological conditions in Tulsa, Oklahoma. Int J Biometeor 2001; 45: 64-74.

76. Ezeamuzie CI, Al-Ali S, Khan M, Hijazi Z, Dowaisan A, Thomson MS, et al. IgE mediated sensitization to mould allergens among patients with allergic respiratory diseases in a desert enviroment. Int Arch Allergy Immunol 2000; 121: 300-7.

77. Venables KM, Allitt U, Collier CG, Emberlin J, Grieg JB, Hardaker PJ, et al. Thundersttom related asthma, the epidemic of 24/25 june 1994. Clin Exp Allergy 1997; 27: 725-36.

78. Subiza E, Subiza J, Jerez M. Aerobiología de las gramíneas en los climas de España. Rev Esp Alergol Inmunol Clin 1989; 4: 45-50.

79. Subiza J, Masiello JM, Subiza JL, Jerez M, Hinojosa M, Subiza E. Prediction of annual variation in atmospheric concentrations of grass pollen. A method based on metereological factors and grain crop estimates. Clin Exp Allergy 1991; 22: 540-6.

80. Antepara I, Fernández JC, Gamboa P, Jauregui I, Miguel F. Pollen allergy in the Bilbao area (European Atlantic seaboard climate): pollination forecasting methods. Clin Exp Allergy 1995; 25: 133-40.

81. Huang S, Pollack HN, Shein P. Temperature trends over the past five centuries reconstructed from boreholes temperatures. Nature 2000; 403: 756-758.

82. Moreno JM. Evaluación de los impactos del cambio climático en España. ECCE. 2005. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

83. Crowely TJ. Causes of climate change over the past 1000 years. Science 2000; 289: 270-277.

84. Bradshaw WE, Holzapfel CM. Evolutionary Response to Rapid Climate Change. Science 2006; 312: 1477-1478.

85. Krakauer NY. Estimating Climate Trends: Application to United States Plant Hardiness Zones. Advances in Meteorology 2012; Vol. 2012, Article ID 404876, 9 pages.

86. Levetin E, Van de Water P. Changing pollen types/concentrations/distribution in the United States. Fact or fiction? Current Allergy and Asthma Reports 2008; 8: 418-424.

87. Fitter AH, Fitter RSR. Rapid changes in flowering time in British plants. Science 2002; 296: 1689-91.

88. Osborne CP, Chiune I, Viner D, Woodward FI. Olive phenology as a sensitive indicator of future climatic warming in the Mediterranean. Plant, cell and environment 2000; 23: 701-710.

89. Teranishi H, Kenda Y, Katoh T, Kasuya M, Oura E, Taira H. Possible role of climate change in the pollen scatter of Japanese cedar cryptomeria japonica in Japan. Climate Research, 2000;14: 65-70.

90. Frei T. The effects of climate change in Switzerland 1969-1996 on airborne pollen quantities from hazel, birch and grass. Grana 1998; 37: 172-9.

91. Levetin E. Effects of climate change on airborne pollen. J Allergy Clin. Immunol 2001; 107: 172.

92. Kishikawa R, Koto E, Iwanaga T, So N, Kamori C, Shoji S, et al. Long-term study of airborne pollen, C. japonica and cupressaceae in Japan. Arerugi 2001; 50: 369-78.

93. Emberlin J, Detandt M, Gehring R, Jäger S, Nolard N, Rantio-Lehtimaäki A. Responses in the start of Betula (Birch) pollen seasons to recent

changes in spring temperatures across Europe. Int J Biometeorol 2002; 46: 159-70.

94. Frenguelli G. Interactions between climatic changes and allergenic plants. Monaldi Arch Chest Dis 2002; 57: 141-143.

95. Rasmussen A. The effects of climate change on the birch pollen season in Denmark. Aerobiologia 2002; 18: 253-65.

96. Schneiter D, Bernard B, Defila C, Gehrig R. Effect of climatic changes on the phenology of plants and the presence of pollen in the air in Switzerland. Allergy Immunol, 2002 Apr; 34(4):113-6.

97. Clot B. Trends in airborne pollen: An overview of 21 years of data in Neuchâtel (Switzerland). Aerobiologia 2003; 19(3-4): 227-234.

98. Orlandi F, Ruga L, Romano B, Fornaciari M. Olive flowering as an indicator of local climatic changes. Theor. Appl. Climatol 2005; 81: 169-176.

99. Aguilera F. La floración del olivo (*Olea europaea L.*) como elemento bioindicador de cambios en el clima mediterráneo. Análisis preliminar. El Aceite de Oliva. Actas Simposio Expoliva 2013. Jaén (España) 8-11 mayo.

100. Tedeschini E, Rodriguez-Rajo FJ, Caramiello R, Jato V, Frenguelli G. The influence of climate changes in *Platanus spp*. pollination in Spain and Italy. Grana 2006; 45: 222-229.

101. Stach A, García-Mozo H, Prieto-Baena JC, Czarnecka-Operacz M, Jenerowicz D, Silny W, et al. Prevalence of Artemisia species pollinosis in western Poland: impact of climate change on aerobiological trends, 1995-2004. J Investig Allergol Clin Immunol. 2007; 17(1):39-47.

102. Frenguelli G. Interactions between climatic changes and allergenic plants. Monaldi Arch Chest Dis 2002; 57: 141-143.

103. Galán C, García-Mozo H, Vázquez L, Ruiz L, Díaz de la Guardia C, Trigo MM. Heat requirement for the onset of the *Olea europaea L.* pollen season in several sites in Andalusia and the effect of the expected future climate change. Int J Biometeorol 2005; 49: 184-188.

104. García-Mozo H. Galán C, Jato V, Belmonte J, Díaz de la Guardia C, Fernández D, et al. Quercus pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: Response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. Ann Agric Environ Med 2006; 13: 209-224.

105. Belmonte J, Canela MA. Cambio climático y aerobiología del polen. En Valero A, Cadahía A Eds. Polinosis III. Mra Ediciones SL. 2008. p. 1-40.

106. Kilimajer J, Narganes MJ, Craciunesco C, González J, Subiza J. Grass pollen in the atmosphere of Madrid: trends over three decades. EAACI. Barcelona 2015.

107. García-Mozo H, Galán C, Alcázar P, Díaz de la Guardia C, Nieto-Lugilde D, Recio M, et al. Trends in grass pollen season in southern Spain. Aerobiologia 2010; 26:157-69.

108. Taylor PE, Jonsson H. Thunderstorm asthma. Curr Allergy Asthma Rep. 2004 Sep;4(5):409-13.

109. Trapp RJ, Diffenbaugh NS, Brooks HE, Baldwin ME, Robinson ED, Pal JS. Changes in severe thunderstorm environment frequency during the 21st century caused by anthropogenically enhanced global radiative forcing. PNAS 2007; 104 (50): 19719-9723.

110. Querol A. Informe Parcial del Convenio INE/A1-050/2009 "Revisión Bibliográfica del Impacto del Cambio Climático en la Emisión de Pólenes y Esporas por Fuentes Naturales y sus Implicaciones en la Calidad del Aire".

111. Martin RA, Ather JL, Lundblad LK, Suratt BT, Boyson JE, Budd RC, et al. Interleukin-1 receptor and caspase-1 are required for the Th17 response in nitrogen dioxide-promoted allergic airway disease. Am J Respir Cell Mol Biol. 2013 May;48(5):655-64.

112. Que LG, Stiles JV, Sundy JS, Foster WM. Pulmonary function, bronchial reactivity, and epithelial permeability are response phenotypes to ozone and develop differentially in healthy humans. J Appl Physiol (1985). 2011 Sep;111(3):679-87.

113. Pope CA III, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, et al. Particulate Air Pollution as a Predictor of Mortality in a Prospective Study of U.S. Adults. Am J Respir Crit Care Med 1995; 151:669-674.

114. Evans; Levy J, Hammitt J, Santos C, Castillejos M. 2002. Health Benefits of Air Pollution Control. In: Air Quality in the Mexico Megacity. An Integrated Assessment. Molina M and L Molina, editors. Kluwer Academic Publishers, The Netherlands.

115. To T, Stanojevic S, Moores G, Gershon AS, Bateman ED, Cruz AA. et al. Global asthma prevalence in adults: findings from the cross-sectional world health survey. BMC Public Health 2012; 12:204.

116. Schwartz J, Slater D, Larson TV, Pierson WE, Koenig JQ. "Particulate Air Pollution and Hospital Emergency Room Visits for Asthma in Seattle", American Review of Respiratory Disease 1993; 147(4):826-831.

117. Borja-Aburto VH, Loomis DP, Bangdiwala S, Shy CM, Rascon-Pacheco RA. Ozone, Suspended Particulates, and Daily Mortality in Mexico City. Am J Epidemiol 1997; 145(3):258-68.

118. Luján Núñez C, Gutiérrez Bustillo AM, Cervigón Morales P. -2010- Pollen season severity variations in the region of Madrid, Spain (1994-2009). The 9th International Congress on Aerobiology "Expanding Aerobiology" Buenos Aires (Argentina). Abstracts p. 78.

119. Strachan D, Sibbald B, Weiland S, Aït-Khaled N, Anabwani G, Anderson HR, et al. Worldwide Variations in prevalence of symptoms of allergic rhinoconjunctivitis in children: the International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC). Pediatr Allergy Immunol 1997; 8(4): 161-76.

120. Moral de Gregorio A. Aerobiología y polinosis por Cupresáceas en España. Alergol Inmunol Clin 2003; 18 (Extraordinario 3):24-39.

121. Alfaya T, Feo F, García C, Pineda C, Lucas JA, Gutiérrez FJ, et al. *Lolium perenne* pollen from a polluted city shows high allergenic potency and increased Enterobacteriaceae counts. J Invest Allergol Clin Immunol 2014; 24: 68-9.

122. Rogers CA, Wayne PM, Maclin EA, Muilenberg ML, Wagner CJ, Epstein P, et al. Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO_2 on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia L.*) pollen production. Environ Health Perspect 2006;114: 865-9.

123. D'Amato G. Urban pollution and plant-derived respiratory allergy. Clin Exp Allergy 2000; 30: 628-36.

124. Díaz-Sánchez D, Tsien A, Fleming J, Saxon A. Combined diesel exhaust particulate and ragweed allergen challenge markedly enhances human in vivo nasal ragweed-specific IgE and skews cytokine production to a T helper cell 2-type pattern. J Immunol 1997; 158:2406-2413.

125. Naciones Unidas (1998). «Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático».

126. Stern N. What is the Economics of Climate Change? World Economics 2006; Vol 7, nº 2.

127. Hutton G. Protecting health from global climate change: economic analysis to enhance policy & decision. Support to member states. UNFCCC Technical Workshop on costs and benefits of adaptation options. Disponible en: http://unfccc.int/2860.php

Pruebas epicutáneas

13

AUTOR

Luis Ángel Navarro Seisdedos

El doctor Luis Ángel Navarro Seisdedos es facultativo especialista en Alergología desde 1995 (Hospital Clínico de Valencia). Es doctor en medicina *cum laudem* desde 2003 y su tesis doctoral versó sobre el *Estudio epidemiológico de la alergia a veneno de himenópteros en una población laboral española*.

Es médico especialista en alergología en el Hospital Lluís Alcanyís de Xàtiva desde 2002, con plaza en propiedad desde 2011.

Ha participado en ocho contratos, convenios y proyectos de I + D + i no competitivos con Administraciones y entidades públicas y privadas.

Además, es coautor de más de 50 publicaciones y/o comunicaciones en alergología y es presidente de la Asociación Va-

lenciana de Alergología e Inmunología Clínica (AVAIC) desde enero de 2009 hasta enero de 2012.

Es, a su vez, coordinador de la Red Aerobiológica Valenciana de Alergología, que depende de la AVAIC.

14

NOTAS

14. NOTAS