

Partículas biológicas transportadas por el aire.

En especial el Polen



Elena Librero Gómez

TRABAJO FIN DE GRADO



**TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN FARMACIA**

**PARTÍCULAS BIOLÓGICAS TRANSPORTADAS POR EL AIRE.
EN ESPECIAL EL POLEN**

Curso 2022/2023

Universidad de Sevilla

Facultad de Farmacia

Autora: Elena Librero Gómez

Tutor: Prof. Dr. Francisco José González Minero

Área de Botánica

Dpto. Biología Vegetal y Ecología

Revisión bibliográfica

Lugar y fecha de presentación: Sevilla, Junio de 2023

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	
1.1. Concepto de Aerobiología.....	6
1.2. Concepto de aerosol y bioaerosol.....	7
2. OBJETIVOS.....	9
3. METODOLOGÍA.....	10
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1. Virus.....	10
4.2. Bacterias.....	13
4.3. Esporas de hongos.....	16
4.4. Polen.....	22
4.5 Otros.....	34
5. CONCLUSIONES.....	35
6. BIBLIOGRAFÍA.....	36

RESUMEN

Se presenta con este trabajo una recopilación bibliográfica sobre diferentes partículas de origen biológico presentes y transportadas en el aire. Se trata por tanto un trabajo estudiado en el campo de la Aerobiología. La información de la que se dispone sobre el tema es muy amplia y por ello, los datos y conceptos que se van a desarrollar aquí están orientados desde el punto de vista de la salud humana, siempre de una manera lo más sintética posible, pero suficiente para que el desconocedor del tema extraiga unas buenas conclusiones y pueda seguir ahondando en cualquiera de los puntos tratados.

En el trabajo se define el concepto de bioaerosol que se fundamenta en el tamaño de partículas y en la capacidad de ser inhalados y producir daños o enfermedades en el aparato respiratorio en particular, o en el resto del organismo. También se ofrecen algunas nociones complementarias sobre la influencia de la contaminación ambiental en la dinámica de los bioaerosoles.

En concreto se han estudiado virus, bacterias, esporas de hongos y polen transportados por el aire. Sobre cada entidad se ha definido su diversidad y taxonomía, su origen, tamaño y forma; su modelo de muestreo e identificación y los efectos adversos sobre la salud (en especial el concepto de polinosis o alergia al polen).

Podemos considerar a la Botánica como la ciencia que se encargan de todos los aspectos relacionados con las plantas. En nuestro caso existe toda una “microbiología” vegetal que pasa inadvertida a nuestros ojos y que está flotando en un medio que nos rodea. Nos referimos a esporas de hongos y granos de polen, sobre los que se ha realizado una mayor incidencia. Sin olvidar como biólogos y farmacéuticos otras materias afines.

Palabras clave: Aerobiología, Alergia, Bioaerosol, Esporas fúngicas, Polen, Salud ocupacional.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Concepto de Aerobiología

La Aerobiología es el estudio del movimiento, transporte pasivo, dispersión y deposición de material y partículas de origen biológico (virus, bacterias, esporas de hongos, polen, etc.), así como como microorganismos transportados por el aire, como bacterias, virus y ácaros, liberados en la atmósfera tanto en exteriores como en interiores, y potencialmente peligrosa para animales, plantas y sistemas humanos (Gregory, 1961; Fernstrom y Goldbat, 2013; Beggs et al., 2017).

En este sentido, es fundamental comprender tanto las interacciones entre las partículas con la atmósfera, cómo también con los factores físicos (tiempo y clima) que afectan a los aerosoles en cuanto a la liberación, movimiento, depósito e impacto de partículas sobre la vegetación y diferentes sustratos (Cox, 1987; Mandrioli y Ariatti, 2001).

Los campos de aplicación de la aerobiología son numerosos y heterogéneos, como son la medicina (enfermedades tanto humanas como animales, inmunología, higiene ocupacional), agricultura (patología vegetal, manejo de plagas, dispersión de artrópodos), silvicultura y ecología genética, meteorología, climatología, biometeorología, microbiología, biodeterioro, calidad del aire interior y exterior, contaminación del aire, aerobiología industrial, paleobotánica, etc. (Lancia et al., 2021) (Figura 1).

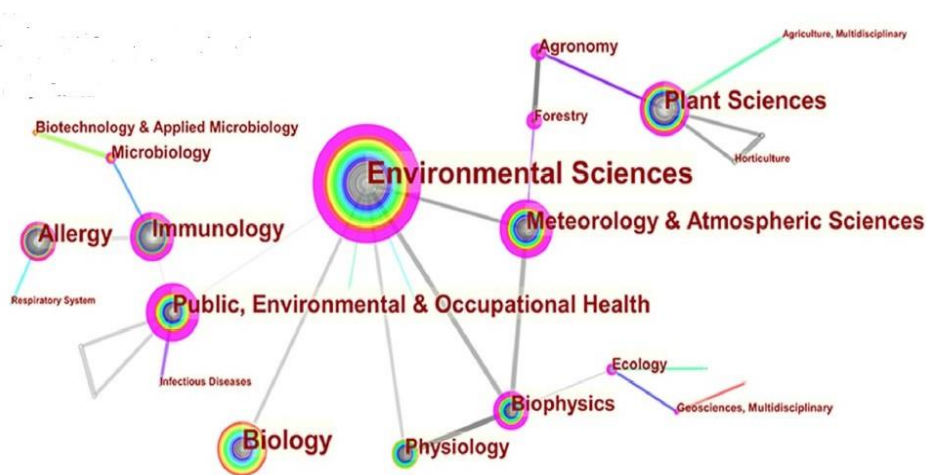


Figura 1. Red de correlación entre los distintos campos de la ciencia en los que aparecen distintos estudios aerobiológicos según las publicaciones (1990-2000) en WOS, Scopus y Pubmed (Lancia et al., 2021).

Una de las aplicaciones más importantes de la Aerobiología es el estudio de la polinosis, es decir, la alergia al polen, también conocida como «fiebre del heno», término introducido por Bostock en 1819, por ser una enfermedad estacional que aparece junto con la floración de los campos de cereales y de las praderas (Plà-Dalmau, 1960).

El concepto de aerobiología se debe a Meier, introducido hace casi un siglo para denominar a los estudios que se estaban llevando a cabo sobre las esporas de hongos, granos de polen y bacterias contenidos en la atmósfera (Gregory, 1973). Como se ha referido con anterioridad, este término fue ampliándose, considerando a esta ciencia como multidisciplinar que comprende el análisis sobre la liberación, retención, dispersión, deposición e incidencia atmosférica de esporas, tipos de polen y otros microorganismos aerovagantes (Pathirane, 1975). Más tarde, Nilsson (1992) añadió el estudio de las partículas o los gases abióticos que afectan a los organismos vivos como aerosoles de origen químico-biológico.

1.2. Concepto de aerosol y bioaerosol

Un aerosol es una suspensión de finas partículas sólidas o gotitas de líquido en el aire u otro gas



Figura 2. Simulación de aerosol producido por el ser humano.
<https://www.nationalgeographic.es/cie>

(Hinds, 1999). Los aerosoles pueden ser visibles, como la niebla, pero la mayoría de las veces son invisibles, como el polvo o el polen. A menudo se dividen en gotas pequeñas (y mucha gente se reserva el término “aerosol” para referirse solo a estas gotas pequeñas) y no a las gotas grandes. Las gotas grandes caen al suelo antes de evaporarse, causando contaminación local. La transmisión de enfermedades a través de estas gotas grandes es a lo que a menudo nos referimos como "propagación por gotas/contacto", donde la transmisión de enfermedades ocurre porque alguien toca una superficie contaminada por estas gotas o queda “atrapado” dentro de la zona de rociado cuando el paciente está tosiendo. Los aerosoles son tan pequeños que las fuerzas de flotación superan la gravedad, lo que les permite estar suspendidos en el aire durante largos períodos, o se evaporan antes de tocar el suelo, dejando las partículas sólidas ("núcleos de gotitas") libres para flotar distancias muy largas y causan lo que a menudo nos referimos como transmisión “aérea” (Judson, 2019). Los aerosoles suponen una mezcla de cientos de poluentes cuya composición varía en función del lugar geográfico o del lugar de trabajo. La Organización Mundial de la Salud considera su estudio como de interés dado que son potencialmente dañinos para la salud en función del tiempo de exposición a los mismos y de sus concentraciones. Son responsables de asma, enfermedades pulmonares y cardiovasculares, fibrosis pulmonar, cáncer y respuestas inmunes (WHO, 2014). Las fuentes de aerosoles pueden ser naturales o antropogénicas. Su naturaleza es química o biológica. El ser humano también es fuente de aerosoles con sus estornudos dado que al toser los labios producen un flujo similar a un aerosol (Figura 2). El material particulado (PM) se define como una mezcla de partículas sólidas y/o líquidas que permanecen separadamente dispersas en el aire. PM no es un

contaminante en sí mismo sino una combinación compleja y dinámica de partículas compuestas con orígenes biológicos y químicos.

La composición química y biológica de la materia particulada respirable (RPM) es muy extensa (Nowosisky et al., 2016; Ramli et al., 2020):

-Compuestos orgánicos: destacan los compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PHAs).

-Compuestos inorgánicos: Cadmio (Cd), Arsénico (As), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Cobalto (Co), Hierro (Fe), etc.

-Iones solubles en agua: Amonio (NH₄⁺), Calcio (Ca²⁺), Sulfato (SO₄²⁺), Nitrato (NO₃).

- Origen Biológico -Bioaerosoles: Virus, bacterias, esporas de hongos, granos de polen y otras (Figura 3).

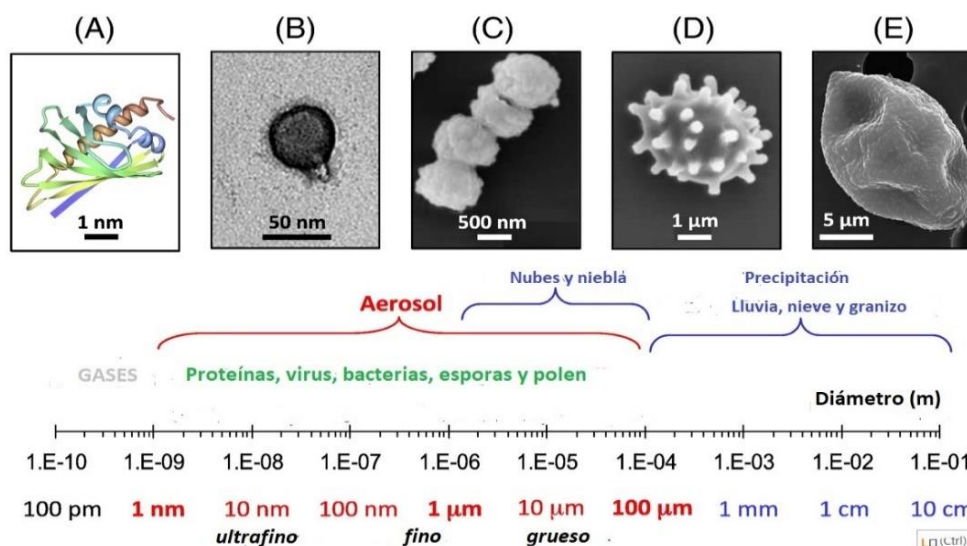


Figura 3. Componentes de bioaerosoles según su diámetro (Nowosisky et al., 2016).

El tiempo de permanencia de los aerosoles de tamaño variable. En el aire en calma se puede estimar a partir de la ley de Stokes -donde u_s es velocidad de caída, p_p es densidad de la

$u_s = \left(\frac{2}{9}\right) \frac{(\rho_p - \rho_f) g r^2}{\mu}$ partícula, p_f es densidad del fluido, g es gravedad, r es radio de la esfera y μ es la viscosidad del aire-.

Para partículas esféricas el tiempo necesario para que un aerosol de 100, 5 o 1 μm caiga al suelo desde una altura de 1,5 m es de 5s, 33 min o 12,2 horas, respectivamente (Figura 4) (Wang et al., 2021).

En la figura 5 se muestra el efecto que pueden tener en el aparato respiratorio el MP en función de su tamaño, las partículas mayores (polen y esporas >1 μm) y se depositan más en nasofaringe, orofaringe y laringe (HA), mientras que las de menor tamaño transitan por el aparato respiratorio hasta los alveolos donde tienen más efectos (Nowosisky et al., 2016).

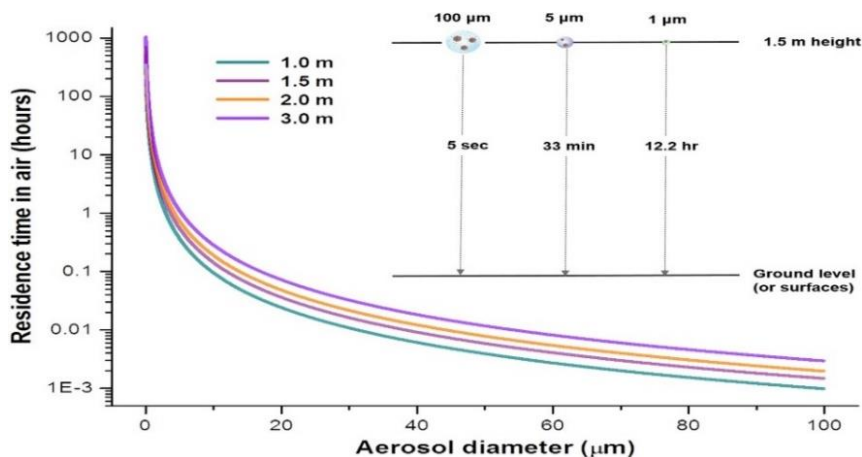


Figura 4. Tiempo de permanencia en el aire de un aerosol en función de su diámetro (Wang et al., 2021).

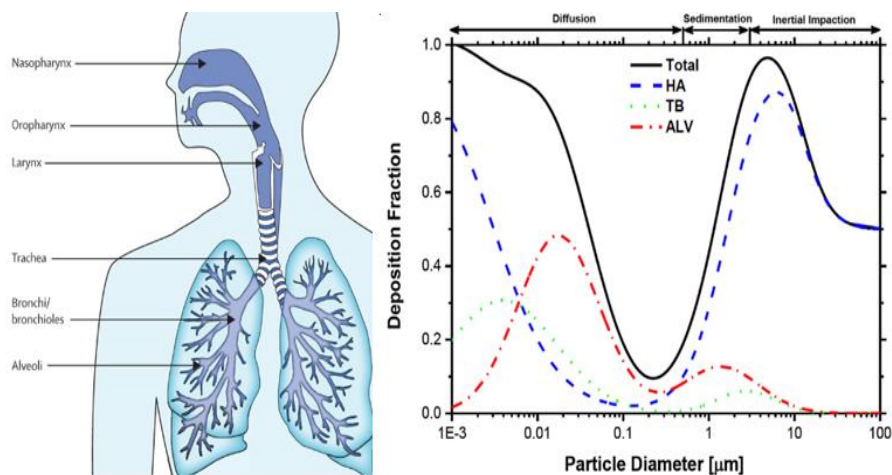


Figura 5. Impacto, sedimentación y difusión a través del aparato respiratorio del MP. HA: nasofaringe, orofaringe y laringe, TB: región traqueo-bronquial, ALV: alveolos. (Nowosisky et al., 2016).

2. OBJETIVOS

1. Describir el concepto de Aerobiología y poner de manifiesto sus relaciones con otro tipo de ciencias.
2. Realizar consideraciones de las partículas biológicas transportadas por el aire, estableciendo posibles efectos sobre la salud humana. Virus, Bacterias, Esporas de hongos, tipos polínicos y otros.
3. Sobre las partículas anteriores, profundizar en el conocimiento biológico de las esporas fúngicas y polen de plantas que forman parte de los bioaerosoles, con más relación hacia la ciencia botánica.
4. Resaltar las patologías humanas, en especial las alergias que causan polen y esporas, como también su mecanismo de desarrollo, epidemiología, generalidades sobre

diagnóstico y tratamiento y establecer medidas de prevención de los posibles efectos sobre la salud de estos polulantes.

3. METODOLOGÍA

Al tratarse de un trabajo de revisión bibliográfica, se han utilizado en primer lugar obras clásicas disponibles en la biblioteca del departamento de Biología Vegetal y Ecología referidas a polen y esporas fúngicas, así como tratados de Botánica que no son fáciles de encontrar o bien son libros generalistas que están a la venta, de los que se van a extraer en muchos casos una mínima información.

Por ello se ha optado por las bases de datos *Scopus*, *Pubmed* y Google Académico. Para ello se han usado las palabras clave: “Aerobiology”, “Aerosols”, “Composition+biological+atmosphere”, “Pollen”, “Fungal spores”, “Respiratory allergy” y “Pollen calendar”.

La cantidad de documentos encontrados es muy amplia, muchos de ellos no contribuyen a los objetivos iniciales del trabajo, aparece información duplicada. Por ello se ha intentado seleccionar, siempre que ha sido posible, aquellos de fechas con publicación más reciente o que cuentan con un número mayor de citas posible.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Son muchas las partículas aerovagantes de origen biológico (bioaerosoles) presentes en la atmósfera que causan algún tipo de disfunción o enfermedad en salud humana (nuestra el caso de este trabajo). Su importancia en los aerosoles hace obligatorio proporcionar una visión resumida. En este apartado se va a realizar un estudio sobre las partículas o moléculas de origen biológico que se pueden encontrar en la atmósfera. La relación de elementos que van a estudiarse es la siguiente:

- Virus
- Bacterias
- Esporas de hongos
- Polen
- Otros

4.1 Virus

Como consecuencia de la pandemia global del Covid-19 la población ha adquirido un conocimiento mayor sobre los virus. Los virus que infectan a los humanos son solo una pequeña fracción de estas formas particulares que se encuentran en la naturaleza. Los virus más abundantes son aquellos que infectan a bacterias que a veces se denominan fagos. Los virus también infectan a una gran cantidad de especies de hongos, plantas y animales (*Nature*, en línea).

En la clasificación de los virus conviven dos criterios taxonómicos, la clasificación de Baltimore, que todavía se usa hoy en día en paralelo con la taxonomía oficial de virus. En lugar de asignar virus a taxa, Baltimore agrupó todos los virus en seis grupos desconectados sin subdivisiones, ahora comúnmente denominados Clases de Baltimore (BC). Esta clasificación tiene en cuenta las diferencias de ácido nucleico, tamaño y arquitectura entre virus de diferentes familias. La clasificación propuesta por el

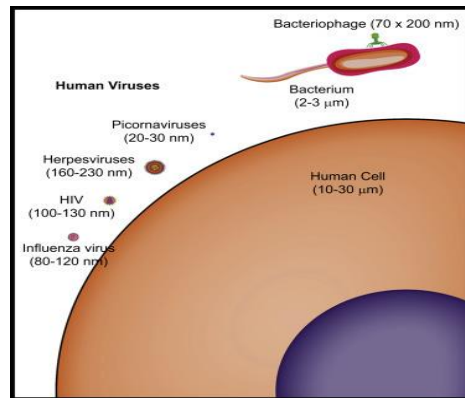


Figura 6. Tamaño relativo entre distintos tipos de virus, bacterias y célula humana (Luten, 2016).

Comité Internacional de Taxonomía de Virus -ICTV- establece un orden jerárquico de los taxa de virus (especie, género, familia...) basada en la información deducida de una secuencia del genoma del virus al menos codificada (Calisher et al., 2019). Los virus humanos pueden variar en tamaño, pero generalmente tienen un diámetro de 20 a 200 nm. En comparación, las bacterias tienen longitud de 2 a 3 μM y una célula humana promedio mide de 10 a 30 μM (Figura 6). Los virus más pequeños tienen unos 20 nm de diámetro, aunque la gripe y el virus de la inmunodeficiencia humana tienen un tamaño de unos 100 nm de diámetro. Sin embargo, algunos virus son significativamente más grandes y superan los 100 nm como los poxvirus – p.e. viruela- que pueden alcanzar los 400 nm de longitud. También los filovirus, como el peligroso virus del Ébola y el virus de Marburg, que tienen solo 80 nm de diámetro, pero se extienden en hilos largos que pueden alcanzar longitudes de más de 1000 nm (Luten, 2016).

Los virus animales y vegetales se detectan mediante efectos citopáticos, técnicas moleculares

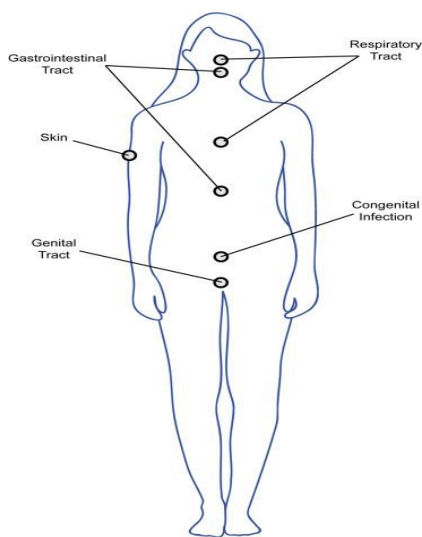


Figura 7. Lugares de entrada de los virus en el cuerpo humano (Luten, 2016).

(PCRRT-PCR), inmunoensayos. Para establecer la infección de un virus debe entrar en contacto con las células huésped que sean susceptibles y permisivas a la infección. Hay varios portales de entrada diferentes que son utilizados por diferentes virus (Figura 7). La mayoría de los virus interactúan con las células epiteliales del huésped que recubren la superficie exterior y las cavidades internas del cuerpo. El epitelio de la mucosa actúa como la principal barrera entre exterior y el ambiente interno del cuerpo, incluidas las vías respiratorias, el tracto gastrointestinal y el tracto genital. El tracto respiratorio es la puerta de entrada más común que tienen los virus en el

cuerpo humano. El tracto respiratorio está compuesto por una

serie de conductos que permiten el intercambio de gases entre el cuerpo y el exterior. Las superficies mucosas de las vías respiratorias suponen un área muy grande con la que los virus pueden interactuar, ya que una persona en reposo inhala alrededor de 10 litros de aire por minuto y dentro de cada inhalación hay una gota en aerosol con partículas que podrían contener virus, como los de una tos o estornudo de una persona infectada. En la tabla 1 se indican los virus que más se transmiten por el aire (Wang et al., 2021). En dicha tabla se indica el tipo de virus según la convención de Montreal, a la que se le añade el nombre científico de la especie o familia. También se incluye el diámetro de partícula y el número básico de reproducción – o índice de contagios entre (Ro) (Bar-On et al., 2020; Wang et al., 2021; ictv.global /taxonomy, en línea).

Tabla 1. Diferentes virus transmitidos por el aire (véase texto).

Virus	Nomenclatura	Diámetro (nm)	Ro
Adenovirus	dsADN, <i>Adenoviridae</i>	70-90	1.54
Sarampión	ssARN-, <i>Morbillivirus</i>	120-300	12-18
Paperas	dsARN, <i>Mixovirus</i> <i>parotiditis</i>	150	10
Rubeola	ssARN+, <i>Tagoviridae</i>	70	6.7
Influenza	ssARN-, <i>Orthomyxoviridae</i>	100	1.2-1.4
Rinovirus	ssARN+, <i>Picornaviridae</i>	30	2-3
Varicela- Zoster	dsADN, <i>Hepersviridae</i>	150-200	9
Virus Respiratorio Sincitial (VRS)	ssARN-, <i>Paramyxoviridae</i>	150-200	0.9-21.9
SARS- CoV 1	ssARN-, <i>Coronavirus 1</i>	100	2-3
SARS Cov 2 (Covid 19)	ssARN- <i>Coronavirus 2</i>	150-200	2-3 (ancestral) 9.5 (omicrón)

El tiempo de suspensión y la distancia recorrida en la atmósfera por un virus dado son muy variables y se pueden ver afectados por el flujo de aire y la turbulencia. Las partículas virales tienen un tamaño de <1 µm, pero por lo general se aerosolizan en núcleos de gotitas de <5 µm. Las partículas en el aire en este rango de tamaño pueden permanecer suspendidas durante días o semanas antes de ser depositadas por el aire que se mueve hacia abajo (Andersen et al., 2009).

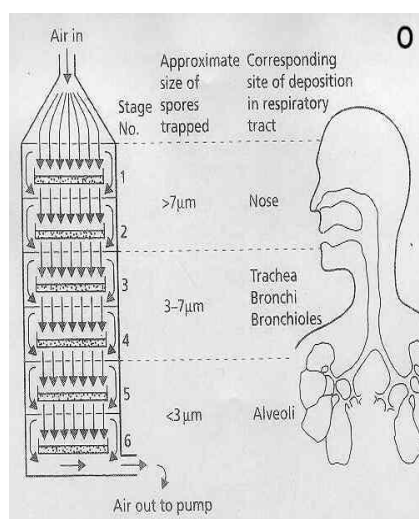
Muchos estudios de transmisión de virus en el aire se han centrado en ambientes interiores, como escuelas, laboratorios, hospitales e instalaciones de cría de animales. La capacidad de transmisión es mucho mayor en estos entornos, debido a problemas como el aire acondicionado, el espacio confinado y la proximidad a una fuente viral. Se ha pensado que era poco probable que los virus humanos y animales se propagaran en un ambiente al aire libre debido a los

muchos factores de inactivación y el enorme potencial de dilución, sin embargo, los estudios realizados en las últimas dos décadas han demostrado la transmisión a larga distancia de virus animales (p. ej., el virus de la fiebre aftosa) que han causado brotes de infección a cientos de kilómetros a favor del viento (Andersen et al., 2009). Los factores ambientales que afectan a la transmisión de virus en aerosoles son radiación ultravioleta, humedad relativa y temperatura. En general, las bajas temperaturas favorecen la transmisión, igualmente que humedades relativas entre 20-80%. La luz UV inactiva a los virus en el aire (Wang et al., 2021). Se ha demostrado para varios virus respiratorios envueltos, incluidos el virus de la influenza A, el virus del sarampión y el coronavirus del síndrome respiratorio agudo severo (SARS-CoV), que la temperatura y la humedad más bajas son más propicias para mantener viriones en el aire. Los viriones se inactivan más rápido a temperaturas y humedad más altas, y las gotitas tienden a caer del aire más fácilmente con una humedad más alta. Por otro lado, los virus sin envoltura como el rinovirus y el adenovirus permanecen infecciosos por más tiempo en ambientes de mayor humedad. La materia orgánica, como las proteínas y los carbohidratos derivados de la mucosidad o la materia fecal en aerosol, también pueden retrasar la inactivación de los virus dentro de las gotas o los aerosoles (Andersen et al., 2009).

4.2. Bacterias

Las bacterias son organismos procariotas unicelulares que se encuentran en casi todos los ecosistemas de la Tierra y son vitales para su buen funcionamiento. En el cuerpo humano se estima que existe un número 10 veces mayor de células bacterianas que de células humanas. La mayor parte no produce ningún daño, y son beneficiosas (p.e., microbiota intestinal) (<https://www.genome>).

En la taxonomía bacteriana ahora se acepta generalmente que las relaciones filogenéticas entre microorganismos deben usarse como criterio moderno. El método de clasificación más fiable basado en el grado de parentesco genético entre organismos depende del contenido de G+C,



homología en el ADN y homología en ARN ribosómico (ARNr 16S) (Vanechoutte y Heyndrickx, 2001).

Los primeros métodos utilizados en estudios aerobiológicos al aire libre se basaron en el cultivo (Figura 8), en el que las bacterias gram-positivas son generalmente dominantes, probablemente debido a sus características de formación de esporas y resistencia a desecación y radiación. Varios estudios han señalado en bioaerosoles concentraciones hasta 1000 veces menores por cultivo que los medidos por métodos independientes del cultivo, como

Figura 8. Muestreador secuencial de Andersen para capturar bacterias y esporas de hongos.

<http://archive.bio.ed.ac.uk/jdeacon/microbes/airborne.htm>

PCR ya que las bacterias cultivables representan solo del 1 al 20% de la diversidad bacteriana total. Sin embargo, usando las secuencias y afiliaciones taxonómicas de bacterias aerotransportadas, un estudio reciente estimó que entre el 50% y el 80% de los taxa bacterianos transportados por el aire tenían bacterias cultivadas y, por lo tanto, podrían cultivarse (Duquenne, 2018). A pesar de desventajas, el cultivo sigue siendo el método elegido para obtener información confiable sobre el metabolismo y la fisiología de las partículas aerotransportadas cepas bacterianas. Por ejemplo, la pigmentación, que protege a las células de radiación ultravioleta y contribuye a la supervivencia a bajas temperaturas, fue revelado como una característica muy común entre las bacterias aerotransportadas cultivadas. Las bacterias transportadas por el aire pueden estar suspendidas como células individuales y es más probable que se adhieran a otras partículas (tierra o fragmentos de hojas) (Delort y Amato, 2018). Aproximadamente el 80% de la diversidad y abundancia relativa de bacterias se encuentra en partículas gruesas (de 2,5 a 10 μm de diámetro), más que en partículas finas ($<2,5 \mu\text{m}$ -Bowers et al., 2013-). Sin embargo, los recuentos bacterianos elevados que oscilan entre 10^4 y 10^7 células m^3 de aire se han encontrado en fracciones finas y ultrafinas de bioaerosoles de zonas boscosas, costero-industriales y marinas como resultado de su pequeño tamaño $\sim 1\mu\text{m}$ (Wei et al., 2019). Además, varias especies bacterianas poseen una tolerancia alta a las bajas temperaturas o a la radiación ultravioleta. Estas características permiten la presencia de bacterias en la estratosfera y el transporte intercontinental a lo largo de miles de kilómetros (Smith et al., 2018).

En términos generales, la taxonomía de las bacterias aerotransportadas ha revelado que el grupo Proteobacteria es el más abundante filo en el aire. Dentro de este filo, los órdenes Pseudomonadales (*Pseudomonas* y *Acinetobacter*), Rhizobiales (*Methylobacterium*) y Rhodospirillales (*Acetobacter*) han sido identificados como los más representativos (Zhong et al., 2019). Como se muestra en la figura 9, la mayor abundancia relativa y diversa de bacterias aerotransportadas se encuentra en las zonas rurales, seguidas de áreas urbanas, suburbanas y de gran altitud. Las bacterias dominantes encontradas en zonas agrícolas y rurales pertenecen al orden Clostridiales (por los derivados del estiércol) (Bowers et al., 2013). Esta distribución geográfica se caracteriza por las contribuciones relativas de las diferentes emisiones de bioaerosoles entre regiones con diferentes niveles de urbanización. En las zonas rurales existe mayor cantidad de vegetación y suelo, por el contrario, en las áreas urbanas y suburbanas aparece una composición más homogénea de especies vegetales Wei et al., 2019) encontraron que factores fisicoquímicos (PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$), asociados con la contaminación, son más altos en áreas urbanas que rurales, lo que contribuyen a una menor diversidad de comunidades bacterianas. La contaminación ambiental en las ciudades contribuye a que proliferen bacterias degradadoras de nutrientes como *Micrococcus*, *Aerococcus* y *Staphylococcus* (Mancinelli y Shulls, 1978). Los

patógenos potenciales bacterianos conocidos y presentes en los bioaerosoles se incluyen en la tabla 2 (De la Rosa et al., 2002).

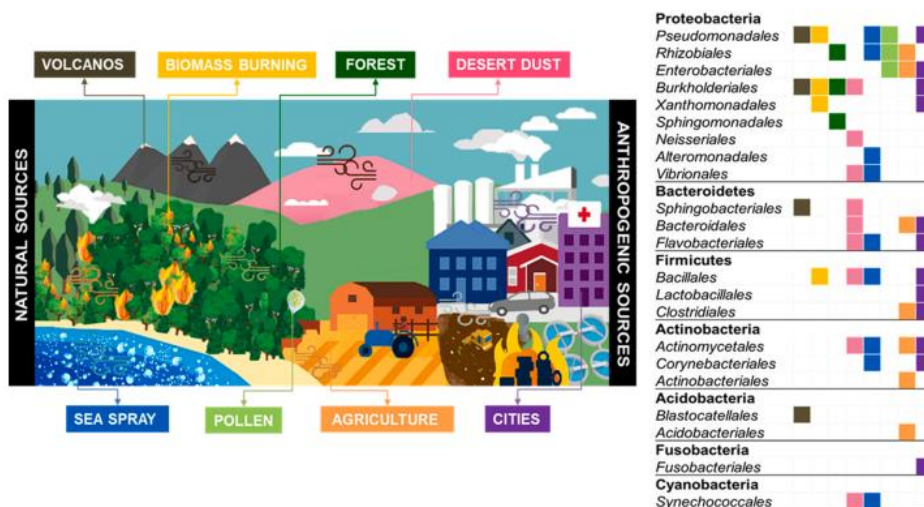


Figura 9. Esquema de las bacterias aerotransportadas predominante en diversos ambientes. (Wei et al., 2019).

Algunas bacterias en el aire relacionadas con problemas graves de salud humana son *Salmonella* y *Bacillus anthracis*, que se han identificado en tormentas de polvo, ciudades e instalaciones de residuos. Además, una mayor diversidad y abundancia relativa de bacterias patógenas se pueden detectar en áreas cercanas a las plantas de tratamiento de aguas residuales y entornos hospitalarios, más que en que zonas alejadas. En las instalaciones de aguas residuales, la abundancia relativa y la diversidad de patógenos aumentó con los pasos sucesivos en el tratamiento de aguas residuales (Liu et al., 2019).

En *Legionella*, la fuente primaria de infección son las gotas aerosolizadas (1-5 μ s) de agua, no habiéndose descrito infección persona-persona. Las bacterias del grupo de la legionela son muy ubicuas y raramente producen neumonías, sólo una cepa (*L. pneumophila*), en personas susceptibles. Se encuentran en cualquier fuente de agua de cualquier lugar del mundo, y se aerosolizan mediante aparatos de aire acondicionado, fuentes decorativas, humidificadores de aire, grifos y duchas (Brady y Sundareshan, 2022).

Tabla 2. Enfermedades bacterianas transmitidas por el aire (de la Rosa et al., 2002).

Enfermedades	Géneros y especies
Amigdalitis, faringitis, bronquitis, escarlatina	<i>Streptococcus pyogenes</i>
Difteria	<i>Corynebacterium diphtheriae</i>
Neumonía clásica	<i>Streptococcus pneumoniae</i> , <i>Streptococcus aureus</i> , <i>Klebsiella pneumoniae</i>
Neumonía atípica, bronquitis	<i>Mycoplasma pneumoniae</i> , <i>Chlamydia pneumoniae</i>
Meningitis	<i>Neisseria meningitidis</i>
Meningitis, epiglotis, neumonía	<i>Haemophilus influenzae</i>

Tosferina	<i>Bordetella pertussis</i>
Tuberculosis	<i>Mycobacterium tuberculosis</i>
Legionelosis	<i>Legionella pneumophila</i>
Actinomicosis	<i>Actinomyces israelii</i>
Nocardiosis	<i>Nocardia asteroides</i>
Fiebre Q	<i>Coxiella burnetii</i>
Carbunco pulmonar	<i>Bacillus anthracis</i>
Peste	<i>Yersinia pestis</i>

4.3 Esporas de hongos

Los biólogos han utilizado el término hongo (*fungus* = seta del latín, *sphongos* = esponja del griego) para designar a organismos eucariotas, portadores de esporas y aclorofilicos, que por lo general se reproducen sexual y asexualmente, y cuyas estructuras somáticas, ramificadas y filamentosas están rodeadas por paredes que contienen quitina o celulosa, o ambas sustancias, junto con otras sustancias biológicas complejas (Alexopoulos y Mims, 1985). Es una definición que tiene en cuenta la morfología, anatomía, fisiología, nutrición, química y composición de la pared celular.

Desde hace dos décadas se recurre a estudios de comparación de secuencias de ADN, lo que ha llevado a reconsiderar el concepto clásico de hongo. De esta manera quedan excluidos los hongos plasmodiales y mucilaginosos (antiguos mixomicetes), y desaparecen los zigomicetos dando lugar a Mucormycota (Spatafora et al., 2016) (Figura 10). En la actualidad hay descritas unas 100.000 especies de hongos, aunque se estima que este número supone un 7% de la realidad, lo que induce a pensar que un porcentaje muy elevado de “hongos” son microscópicos - concepto relatado en medicina como *hongos filamentosos* (Crous et al., 2006).

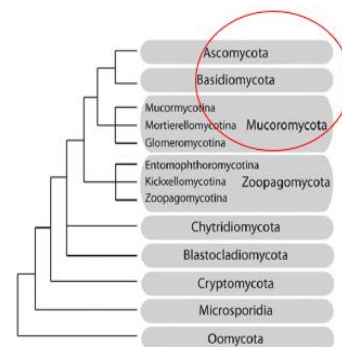


Figura 10. Clasificación filogenética de los hongos (Spatafora et al., 2016).

Los hongos crecen en casi todas partes, incluso como los líquenes dentro de las rocas antárticas. Los hongos se desarrollan en un amplio rango de temperatura (25 a 50 °C y más) aunque las especies individuales generalmente crecen dentro de un rango mucho más estrecho. Uno de los parámetros físicos más importantes que influye en el crecimiento de hongos es la humedad. Si bien se afirma de manera amplia que se necesita una humedad relativa superior al 70% para el crecimiento activo y la actividad del agua del sustrato es en realidad el parámetro crítico. Por ello, se ha observado que los recuentos de esporas fúngicas en el aire superan los recuentos de polen en 1000 veces o más, alcanzando hasta 50 000 esporas por

m³ de aire. Además, la exposición a esporas de hongos puede durar meses, ya que en muchos casos no existe una estacionalidad y su presencia es continua a lo largo del año, lo que lleva a una alta susceptibilidad del paciente durante una proporción más significativa en el tiempo (Figura 11) (Nowoisky et al., 2016).

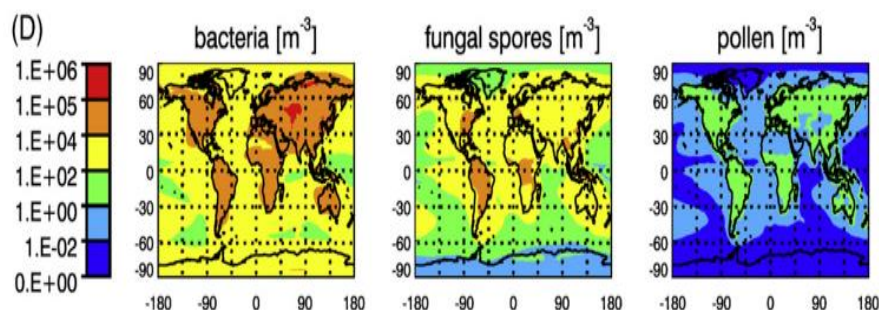


Figura 11. Establecimiento comparativo de las concentraciones de bacterias, esporas fúngicas y polen según las distintas regiones geográficas (Nowoisky et al., 2016).

Los hongos presentan una enorme gama de formas y colores en sus esporas, que va desde las simples globosas, esféricas o elípticas, hasta las alargadas y provistas de abundantes ramificaciones, estrelladas, helicoidales, romboidales, poligonales, etc., con largos apéndices o apiculadas, capitadas, filiformes, etc. (Figura 12). Exteriormente pueden ser lisas, rugosas, verrugosas, espinosas, reticuladas, surcadas, provistas de crestas, etc. Con respecto al color, se pueden encontrar en la naturaleza de todos los tonos imaginables, desde el blanco puro hasta el negro, habiendo muchas que se presentan hialinas. De entre los colores más corrientes podemos citar el blanco, el chocolate y el ocre. Interiormente la espora puede presentar una cavidad única o aparecer compartimentada, mediante uno o más tabiques, dispuestos en sentido longitudinal, transversal o en ambos. En cuanto a las dimensiones de las esporas, no existe una regla fija para poder dar unas normas dentro de cada grupo, pero, en general, puede afirmarse que la mayoría se encuentran comprendidas entre 5-12 μ de diámetro. La estructura y ornamentación de las basidiósporas están constituida por capas o tegumentos (exosporio) que al resquebrajarse origina una ornamentación típica para cada especie, que puede variar desde rugosa, verrugosa, espinosa, reticulada, sulcada, etc., hasta las formas más complicadas que se puedan imaginar por combinación de las anteriores (Ellis, 1976; Kaarik et al., 1983; Grant-Smith, 1984; Hawksworth, 1995).

El aire se puede muestrear en algún medio de crecimiento para el análisis de cultivo (también conocido como muestras viables o cultivables) o en una superficie adhesiva o una membrana de filtro para el examen microscópico directo (ME) (muestras no viables o no cultivables).

La principal ventaja del muestreo no viable es que la observación de esporas bajo el microscopio no depende de la viabilidad de las esporas. La otra ventaja es que dado que las muestras no requieren cultivo, los resultados se pueden obtener el mismo día en que se

recolectaron las muestras. Una de las desventajas de este método es que la mayoría de las esporas solo se pueden identificar a nivel de grupo (género) y algunas se registran como esporas no identificadas.

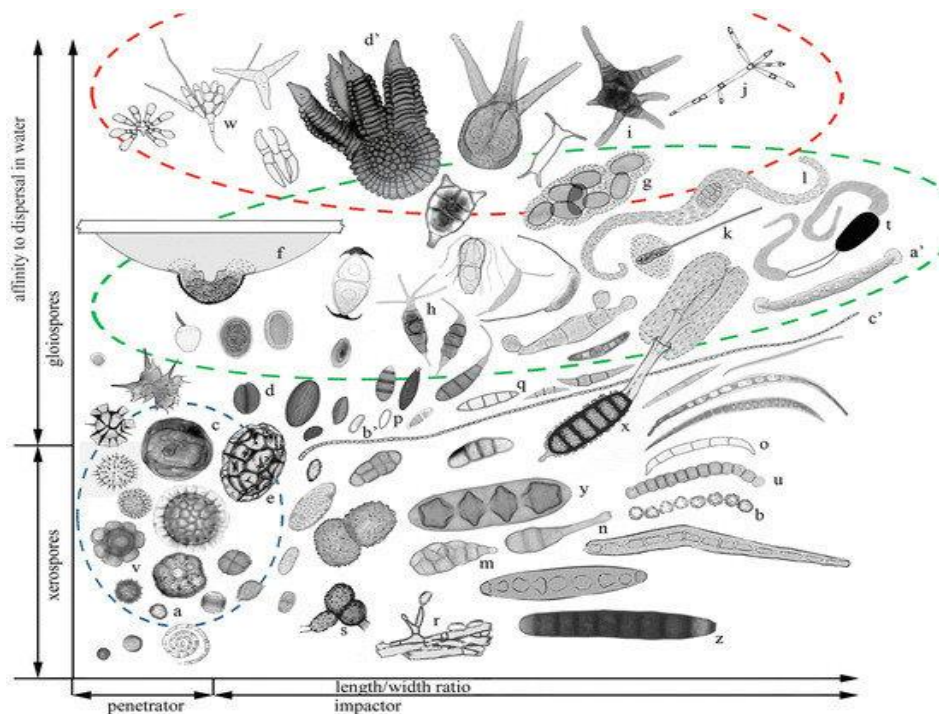


Figura 12. Unidades de dispersión de hongos a diferentes escalas. Grupo delimitado con una línea azul: esporas secas con superficie rugosa. Grupo delimitado con línea verde: esporas con apéndices o asociadas a mucílago. Grupo delimitado con una línea roja: esporas radiadas. a. un conidio de *Aspergillus*; b.

Conidios de *Aspergillus* en cadena; c micelio fúngico dentro de un grano de polen en el aire; d. dos ascosporas Xilariáceas adheridas en su lado plano forman una esfera que minimiza la resistencia del aire; e. ascospora del hongo subterráneo *Tuber mesentericum*; f. *Pilobolus*, un esporangio descargado que acaba de aterrizar en un portaobjetos de vidrio; g. *Ascobolus immersus* octeto de ascosporas; h. conidios de *Pestalotiopsis*, i. *Oncopodiella* sp. conidios germinados del agua de lluvia del flujo del tallo; j. Células de levadura *Metschnikowia reukaufii* de miel floral; ascospora de *Loramycetes juncicola*; l. *Pleospora scirpicola* ascospora; m–n *Alternaria*; o–s, *Fusarium* sp., micelio y conidios en restos de plantas transportados por el aire, s. clamidospora; t. *Podospora fimicola*; u. *Torula herbarum*; v. Esporas de *Urocystis* rodeadas de células estériles que posiblemente ayuden a la dispersión por el viento; w. *Tetracladium conidium* de espuma de agua corriente; x. *Phragmidium mucronatum* teliospora; y. *Aglaospora profusa* ascospora; z. *Dendryphion nanum* conidium de las madrigueras de lombrices de tierra; a'. Ascospora de *Leptosphaeria maculans* y b' conidios de su anamorfo, *Phoma lingam*; c'. *Cordyceps militaris*. d'. Los conidios en forma de cruz de *Valdensinia heterodoxa* adquieren una forma lacrimiforme cuando se descargan, lo que aerodinámicamente debería hacer que el conidio viaje más lejos (Golan y Pringle, 2017).

Las “muestras de aire viables” se refieren a muestras que se toman en algunos medios de crecimiento y luego se incuban para que los propágulos (esporas y/o fragmentos de hifas) germinen y formen colonias. Las colonias resultantes luego se enumeran y/o se transfieren a otros medios para la identificación de género o especie. Los resultados se presentan como número de unidades formadoras de colonias por metro cúbico de aire (UFC/m³). La principal ventaja del muestreo viable es que los hongos se pueden identificar a nivel individual (especie). La desventaja de este método es que no puede detectar esporas muertas, pero estas esporas aún pueden causar reacciones alérgicas.

“Trampas de esporas” se usa comúnmente para referirse a muestras de aire no viables (p.e. método Hirst). Sin embargo, ya sea que el muestreo se realice para el análisis de cultivo con un RCS, Andersen o para DME con Air-O-Cell u otros casetes similares, involucra la captura de esporas. Por lo tanto, las “trampas de esporas” son aplicables tanto a muestras viables como no viables. Como medios de cultivos de esporas de hongos se pueden mencionar los siguientes: OPD: placa de Petri abierta; R: Rotorrod. Medios de cultivo CA: agar Czapek; DG-18: Dicloran glicerol-18; MEA: agar extracto de malta; PDA: agar patata dextrosa; RBA: agar rosa de Bengala; S: diapositiva; SAD: Agar dextrosa Sabouraud (Fernández-Rodríguez et al., 2014).

Las esporas de hongos constituyen una parte importante de las partículas biológicas de aerosol (PBA) y se observan grandes cantidades de dichas partículas en el aire. Las partículas fúngicas tienen interés debido a su potencial para afectar la salud de las plantas y los humanos. Están omnipresentes en la atmósfera durante todo el año, con concentraciones que varían según los parámetros meteorológicos y la ubicación. Del mismo modo, las diferencias entre las concentraciones y la dispersión de esporas de hongos en interiores y exteriores desempeñan un papel importante en la salud ocupacional (Martínez-Bracero et al., 2022).

A pesar de que constituyen una proporción significativa de los alérgenos transportados por el aire, la relación entre las esporas de hongos y el asma no está completamente explorada. Hasta el momento, solo se han observado 80 taxa de hongos posiblemente involucrados en afecciones respiratorias. El estudio de las esporas de hongos los principales problemas estriban en la dificultad de identificación y de estudio de los patrones biológico de estos organismos y en los pocos extractos fiables de alérgenos fúngicos que fabrican los laboratorios: **Ascomycota**: *Alternaria alternata*, *Aspergillus* spp., *Cladosporium* spp, *Botrytis cinerea*, *Epicoccum nigrum*, *Fusarium* spp., *Helminthosporium* spp., *Penicillium* spp., *Trichophyton* spp., **Basidiomycota**: *Calvatia* spp., *Pleurotus ostreatus*, *Coprinus* spp., *Ganoderma* spp., *Psilocybe cubensis* (Horner et al., 1995). A escala global se representan en porcentajes los tipos de hongos Ascomycota y Basidiomycota recogidos en el aire determinadas por análisis de ADN y ARN (Figura 13).

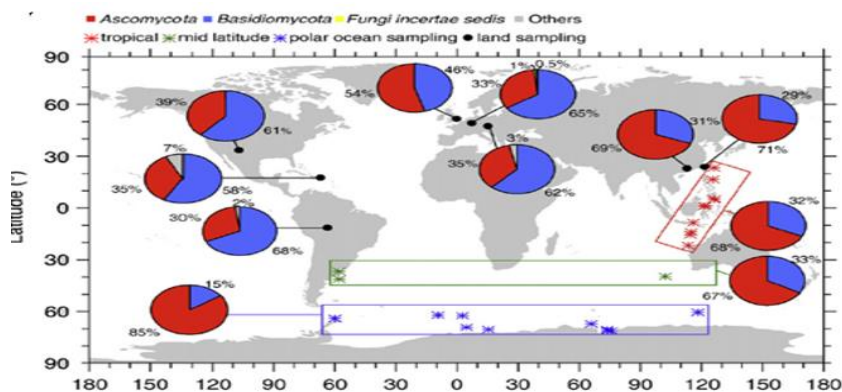


Figura 13. Biodiversidad y biogeografía de hongos aerotransportados determinada por análisis de ADN y ARN (Nowoisky et al., 2016).

Según esta imagen los Ascomycota serían dominantes a nivel general, excepto en lugares “con menos oscilaciones térmicas entre las temperaturas máximas y las mínimas” (Nowoisky et al., 2016).

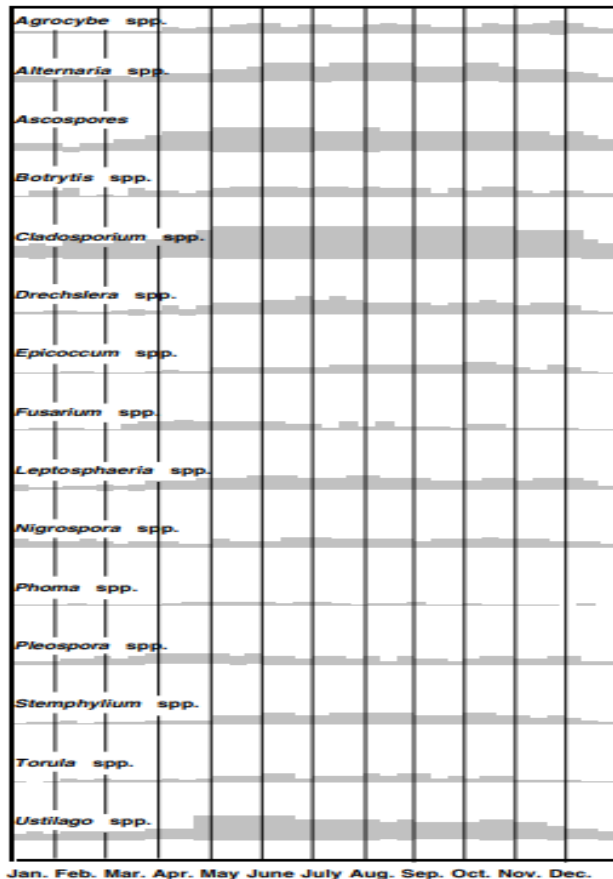


Figura 14. Variación a lo largo del año de distintos tipos de esporas en el aire (e/m³ de aire) (Gioulekas et al., 2004).

En la figura 14 se muestra la variación -mediante una escala semicuantitativa-a lo largo del año de las concentraciones medias (15 años de muestreo) de distintos tipos de esporas en el aire de Tesalónica (e/m³ de aire). Como acabamos de referir no existe una estacionalidad clara, siendo *Cladosporium* el más abundante tanto en concentración como en tiempo, le siguen *Ascosporas*, *Alternaria* y *Ustilago*. Las condiciones atmosféricas generales fueron una temperatura media de 15.8⁰C, oscilando entre 25.4⁰C en verano y 6.9⁰C en invierno. La humedad relativa media varió entre

el 65-85% en invierno y 55-65% en verano. La precipitación media diaria y la duración de la insolación fueron

1,1 mm y 7 h 16 min, respectivamente. En cuanto a la velocidad del viento en lo que respecta a la zona de Tesalónica, normalmente estaba en calma o moderada (Gioulekas et al., 2004).

Cladosporium spp., *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. y *Alternaria* spp. se han encontrado como esporas predominantes en ambientes interiores, como hospitales y viviendas y se han asociado con hospitalizaciones por asma aguda (Hughes et al., 2022). Mientras tanto, las esporas de hongos al aire libre exhiben una mayor diversidad y abundancia. En la figura 15 se muestran algunas imágenes al microscopio óptico de algunos de ellos.

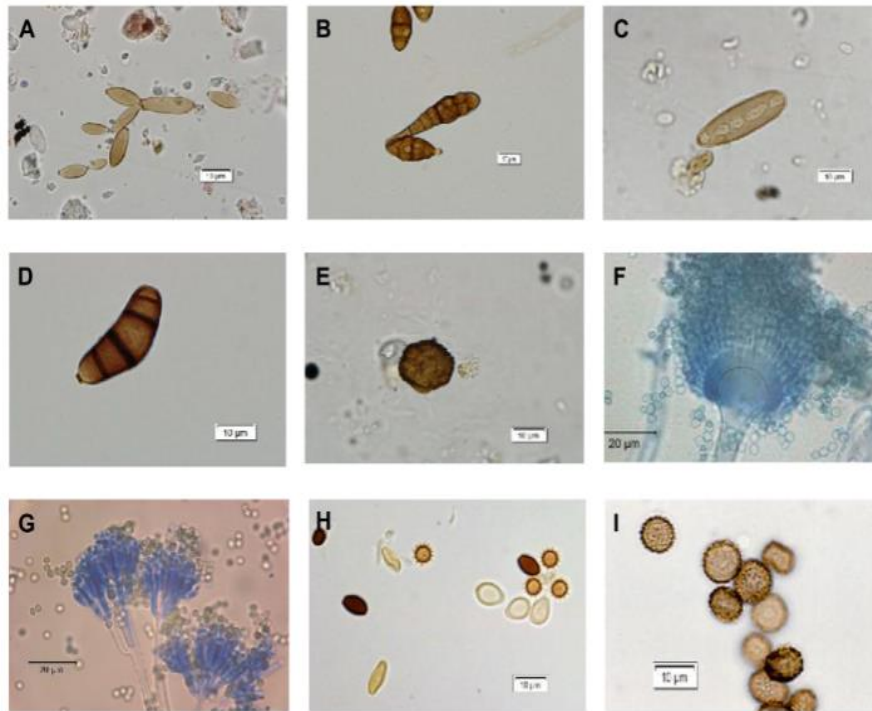


Figura 15. Esporas de hongos alergógenas. A. *Cladosporium*, B. *Alternaria*. C. *Bipolaris*. D. *Curvularia*. E. *Epicoccum* -conidióforo cultivado-. F. *Aspergillus fumigatus*. G. *Penicillium solitum* conidióforo cultivado-. H. mezcla de basidiosporas. I. Teliosporas de *Ustilago maydis* (Levetin et al., 2016).

Durante años, se ha denominado a la enfermedad causada por hongos zigomicetos (actuales Mucormycota) como zigomicosis. Sin embargo, ya que prácticamente todos pertenecen al orden de los mucorales, la enfermedad se llama actualmente mucormicosis. Los principales géneros que pueden ser patógenos en el hombre son *Mucor*, *Rhizopus*, *Lichtheimia* y *Rhizomucor*. La incidencia de la mucormicosis ha aumentado en las últimas décadas. Generalmente, causan enfermedades invasivas y muy graves, y la mortalidad asociada es casi del 100% si no se diagnostica a tiempo y se trata adecuadamente. Afectan principalmente a pacientes con diabetes no controlada, con alteraciones hematológicas o trasplantados. Uno de los cuadros clínicos más característicos supone la afectación de las zonas nasal, ocular y cerebral. Pero también pueden afectar a los pulmones, al tracto intestinal, a la piel y a los riñones (Zaragoza-Hernández, 2018).

Desde el punto de vista de la salud se pueden inhalar esporas patógenas de *Aspergillus* (*A. fumigatus*, *A. niger*, *A. flavus* y *A. terreus*). Estos conidios tienen un diámetro inferior a los 5 μm y pueden alcanzar los alveolos pulmonares. En personas vulnerables, con afecciones o con inmunodeficiencia sistémica, estas esporas pueden saltarse esta barrera física, germinar y proliferar rápidamente produciendo un micelio, en cuyo caso los neutrófilos polimorfonucleares se adhieren a la superficie de las hifas, provocan su lisis y se liberan radicales libres de oxígeno. *Aspergillus spp* puede producir cuadros clínicos pulmonares muy diferentes, que van desde el asma bronquial hasta las infecciones invasivas; que son de extrema gravedad y cursan con diseminaciones hematógenas (Rebanta et al., 2022). Otras enfermedades causadas por

esporas de hongos potencialmente inhalados son neumonías (*Pneumocystis carinii*), micosis sistémicas (*Cryptococcus neoformans*, *Blastomyces dermatitidis*, *Hitoplasma capulatum*, *Coccidioides immitis*) (<https://www.cdc.gov/fungal/diseases/index.html>).

4.4. El polen

El ciclo biológico de muchas algas y todas las plantas terrestres con flores presenta dos fases, una visible llamada esporófito y otra ± microscópica llamada gametófito. Las plantas “criptógamas” no producen polen, se reproducen y se dispersan por fragmentos en algunos casos, y por esporas ya sean de origen sexual o asexual. En bioaerosoles próximos a las costas marinas es frecuente encontrar células de Cyanophyta y algas microscópicas de la división Chlorophyta (*Bracteacoccus* sp., *Oocystis* sp., *Coenochloris* sp., *Chlorella* sp.) (Wiśniewska et al., 2022). En el aire también pueden aparecer esporas de “Pteridofitas”, que son básicamente bilaterales o tetraédricas, con una apertura única llamada laesura (linear o trirrasgada) (Sánchez-Reyes, 2023). En las plantas espermatofitas (grupo de Gimnospermas y Angiospermas) aparece el fenómeno de la polinización.

El grano de polen forma parte del gametofito masculino de las gimnospermas y gimnospermas, en cuyo interior están protegidos los gametos masculinos que son transferidos por medio de la polinización a la parte femenina de una flor de la misma especie para que se produzca la fecundación (Figura 16). Los granos de polen derivan de un proceso meiótico de las células madre del polen de los sacos polínicos, y en la madurez suelen consistir en una célula binucleada o trinucleada rodeada por una pared que tiene la importante función de proteger al gameto en su recorrido entre las flores masculinas y femeninas. La pared de granos de polen es muy resistente a la pérdida de agua y daños ambientales, para evitar daños en la célula originará al gameto masculino. Cada especie posee una escultura distintiva en la superficie de los granos de polen, y también existen muchas otras características morfológicas que son útiles la clasificación del polen por el analista.

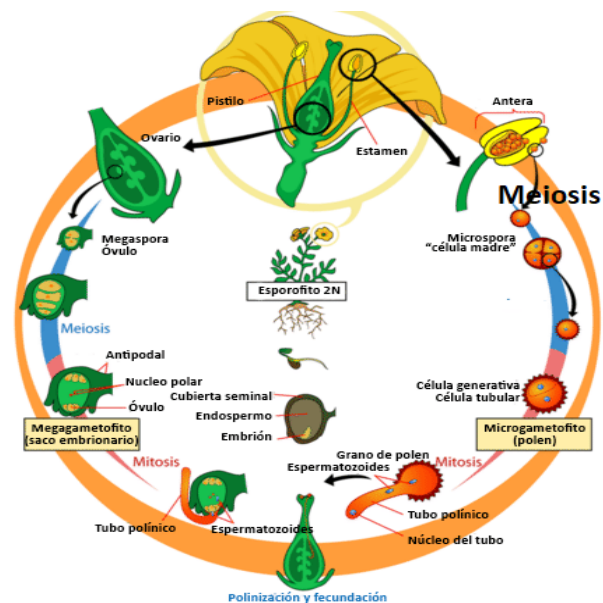


Figura 16. Ciclo Biológico de Angiospermas. Modificado a partir de Wikipedia.

Por ello vamos a describir algunas sus características: Estructura, Polaridad, Aperturas, Tamaño y Forma [(Moore y Webb (1978); Accorsi et al., (1991); Frenguelli et al., (1991); Frenguelli, (2003)].

Estructura y ornamentación. La pared del grano de polen vivo está formada por dos capas; la más externa se llama exina y está compuesta por una sustancia muy inusual, la esporopolenina. La capa interna se denomina intina. En el microscopio óptico, podemos ver la exina y es esta la que lleva todas las características morfológicas necesarias para la identificación del polen. En concreto, sexina (capa externa de exina) que presenta diferentes esculturas en su superficie.

En el tipo estructural "columelado", característico del polen de angiospermas, la sexina está compuesta por pequeñas varillas dirigidas radialmente que se asientan sobre la nexina y se denominan columelas, que sostienen un techo, que puede estar perforado o esculpido de formas características.

El *tectum* puede estar completo (granos tectados), parcialmente disuelto (granos semitectados) o completamente ausente. En el grano intectado las varillas se llaman báculas si tienen forma cilíndrica, pero en otros casos tienen formas diferentes y se llaman clavado si tienen forma de maza, pila si tienen cabezas hinchadas, o gemados si son cortas y globulares. A veces, los elementos escultóricos pueden tener la forma de pequeñas verrugas semiesféricas (verrugas) o pequeñas escamas (escábridos) u otros elementos pequeños (granulados). En algunos tipos tectados y semitectados, las cabezas de las columelas están conectadas para formar un patrón reticular, siguiendo un patrón reticulado o rugulado. También se pueden observar diversos huecos (foveolado), estrías (estriados), espinas (equinulados), pequeños agujeros (perforados) y arrugas (rugulados) (Figura 17).

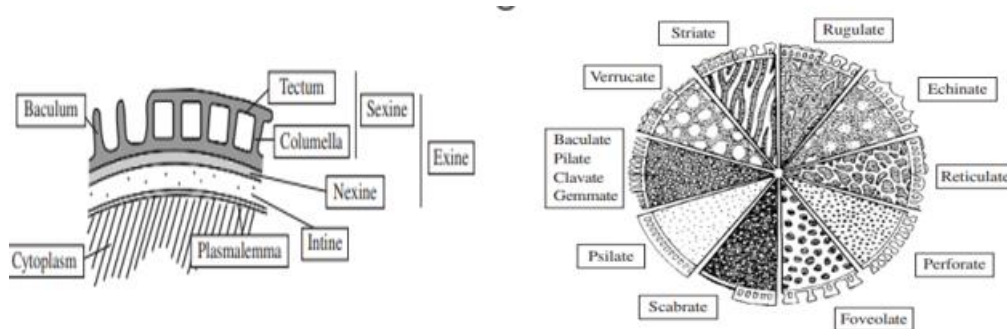


Figura 17. Izda: Diferentes capas de la pared polínica. Dcha. Diferente ornamentación de la pared. Véase texto.

La sexina puede presentar distintos tipos de procesos, más o menos evidentes y con distintas formas. En general, los granos de polen se forman en grupos de cuatro, cada uno de los cuales vuelven completamente libres en la madurez, y a esto se llama mónadas que resultan de la división de una sola célula madre de polen. En ciertos géneros o familias se liberan en parejas

(diadas), pueden permanecer unidas formando una tétrada (Ericaceae) o formar agregaciones más grandes (*Acacia*, Orchidaceae) (Figura 18).

Polaridad. Cada grano de polen tiene una polaridad porque exhibe áreas o polos opuestos como consecuencia de su posición original dentro de la tétrada. El eje polar es una línea imaginaria que atraviesa el grano de polen desde los centros de los polos opuestos. El ecuador del grano es la línea que recorre la superficie situada en el plano ecuatorial que divide perpendicularmente al eje polar. Si los dos polos son similares tenemos un “grano isopolar”, mientras que el grano es “heteropolar” cuando las dos zonas tienen características diferentes. A veces, las dos áreas polares no se pueden identificar y el polen es "apolar" (Figura 18).

Aperturas. La mayoría de los granos de polen poseen aperturas, generalmente partes delgadas o ausentes de la exina a través de las cuales emerge el tubo polínico en la germinación en un estigma compatible. Hay dos tipos principales de forma de aperturas y se denominan poros y colpos (surcos alargados y puntiagudos). Si el grano posee en la misma apertura colpos y poros se llama heterocolporado. Los granos de polen se pueden dividir en grupos según el número, la posición y las características de sus aperturas. El número de aperturas varía de 0 a 40 o más y se indican adjuntando los prefijos mono-, di-, tri-, tetra-, penta-, hexa- y poly- (más de seis aperturas). Los granos sin apertura se denominan inaperturados. Si los poros o colpos están dispuestos alrededor del ecuador se utiliza el prefijo zono- (o stephano-), mientras que si están dispersos por toda la superficie se indica con el prefijo panto-. A veces, dos o más colpos pueden fusionarse en los polos o en cualquier otro lugar, y estos se denominan granos sincolpados. Otros tipos de polen (Compositae, Liguliflorae) tienen sistemas de aperturas oscurecidas por grandes lagunas en la sexina, separadas por altas crestas equinuladas, este tipo se denomina fenestrado (Figura 19).

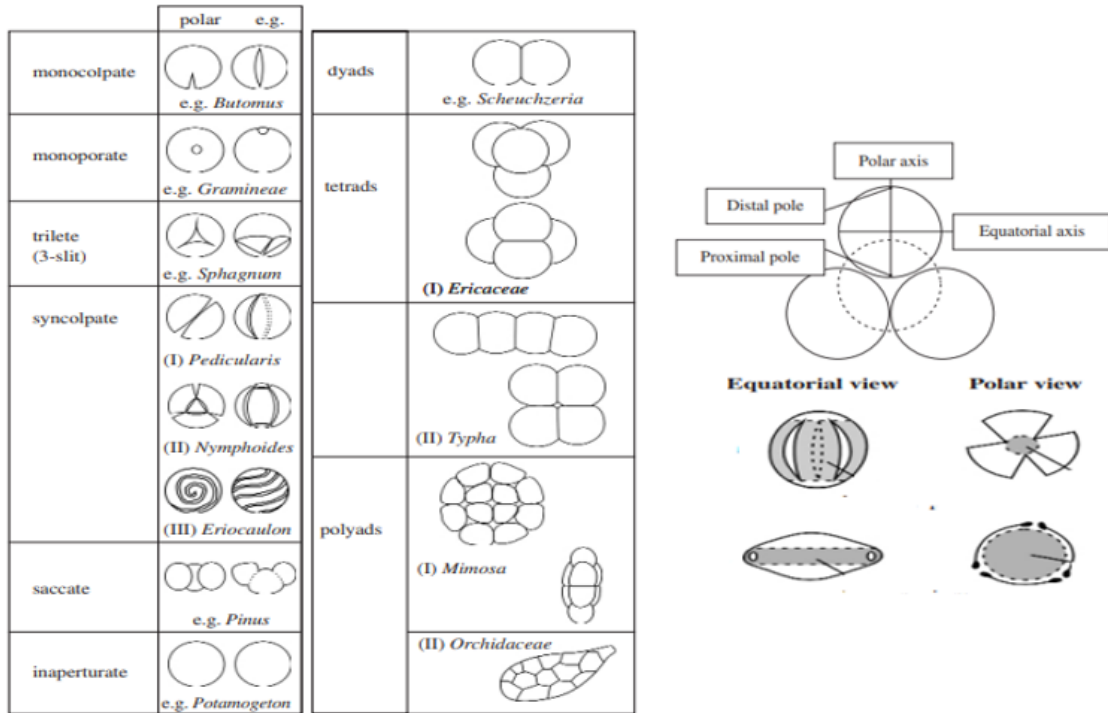


Figura 18. Izda. Ilustración de formas de aperturas-se comenta más adelante- y diferentes formas de organización de tipos polínicos. Dcha. Formas y polaridad del grano de polen según su origen meiótico. Véase texto.

	DI-		TRI-		TETRA-		PENTA-		HEXA-		POLY-	
	polar	eq.	polar	eq.	polar	eq.	polar	eq.	polar	eq.	polar	eq.
ZONOPORATE	 e.g. <i>Colchicum</i>	 e.g. <i>Betula</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>	 e.g. <i>Alnus, Ulmus</i>		
ZONOCOLPATE	 e.g. <i>Tofieldia</i>	 e.g. <i>Acer</i>	 e.g. <i>Hippuris</i>	 e.g. <i>Hippuris</i>	 e.g. <i>Labiatae, Rubiaceae</i>	 e.g. <i>Labiatae, Rubiaceae</i>	 e.g. <i>Labiatae, Rubiaceae</i>	 e.g. <i>Labiatae, Rubiaceae</i>	 e.g. <i>Labiatae, Rubiaceae</i>	 e.g. <i>Labiatae, Rubiaceae</i>		
ZONOCOLPORATE		 e.g. <i>Parnassia</i>	 e.g. <i>Rumex</i>	 e.g. <i>Rumex</i>	 e.g. <i>Viola</i>	 e.g. <i>Viola</i>	 e.g. <i>Sanguisorba</i>	 e.g. <i>Sanguisorba</i>	 e.g. <i>Utricularia</i>	 e.g. <i>Utricularia</i>		
PANTOPORATE		 e.g. <i>Urtica</i>	 e.g. <i>Urtica</i>	 e.g. <i>Urtica</i>	 e.g. <i>Plantago</i>	 e.g. <i>Plantago</i>	 e.g. <i>Plantago</i>	 e.g. <i>Plantago</i>	 <i>Chenopodiaceae</i>	 <i>Chenopodiaceae</i>		
PANTOCOLPATE			 e.g. <i>Ranunculaceae</i>	 e.g. <i>Ranunculaceae</i>			 e.g. <i>Spergula</i>	 e.g. <i>Spergula</i>	 e.g. <i>Polygonum amphibium</i>	 e.g. <i>Polygonum amphibium</i>		
PANTOCOLPORATE			 e.g. <i>Rumex</i>	 e.g. <i>Rumex</i>			 e.g. <i>Polygonum raii</i>	 e.g. <i>Polygonum raii</i>				

Figura 19. Clasificación de los tipos de polen atendiendo al número y disposición de sus aperturas. Véase texto.

Tamaño y forma. Los granos de polen son estructuras tridimensionales y suelen ser esféricos u ovoides, pero también existen otras formas. Si los granos de polen se consideran como elipsoides giratorios más o menos regulares con el eje polar como eje de rotación, y es posible definir el polen sobre la base de la relación entre la longitud del eje polar (P) y el diámetro ecuatorial (E). Cuando $P/E > 2,00$ el polen se denomina perprolato. Según las siguientes relaciones, los granos pueden ser: prolato ($P/E=2,00-1,34$), subprolato ($P/E=1,33-1,15$), prolato esferoidal ($P/E=1,14-1,01$), esférico ($P/E=1$), achatado-esferoidal ($P/E=0,99-0,89$), suboblato ($P/E=0,88-0,76$), achatado ($P/E=0,75-0,50$) y peroblato ($P/E < 0,50$).

El tamaño de los granos de polen varía desde aproximadamente $5 \mu\text{m}$ (*Veronica*) hasta 200 a $300 \mu\text{m}$ (*Cucurbita*). Normalmente se utilizan los siguientes grupos: grano muy pequeño, en el que el diámetro es inferior a $10 \mu\text{m}$; pequeño, en el que el diámetro es en $10-24 \mu\text{m}$; tamaño mediano, $25-49 \mu\text{m}$; grande, $50-99 \mu\text{m}$; muy grande, $100-200 \mu\text{m}$; gigantesco, cuyo diámetro es superior a $200 \mu\text{m}$. Los granos de polen en el aire normalmente oscilan entre $10 \mu\text{m}$ y $80 \mu\text{m}$.

Flora alergógena. La cantidad de polen que producen las flores depende del vector que lo transporte de una flor a otra de la misma especie. Las plantas que usan a los insectos (entomófilas) producen sensiblemente menor cantidad de polen que aquellas con flores poco llamativas que emplean como vector al viento (anemófilas) (Tormo-Molina et al., 1996). Por tanto, la exposición al polen es una forma más de interacción entre el hombre y el resto de los seres vivos en la Biosfera, lo se concreta en procesos alérgicos. Los fenómenos alérgicos se conocen desde el siglo XIX en Inglaterra, donde se les denominaron como “fiebre del heno”.

Las condiciones necesarias para que una especie de planta sea alergógena debería cumplir los postulados de Thommen, ya enunciados en 1930 y con plena vigencia hoy día (Carnés, 2015):

- El polen debe contener una sustancia que origine una reacción de hipersensibilidad.
- El polen debe proceder de plantas anemófilas (excepcionalmente entomófilas).
- El polen debe ser ligero y fácilmente transportable por el aire.
- El polen debe producirse en cantidades abundantes y pertenecer a plantas ampliamente distribuidas en las inmediaciones de los asentamientos humanos.
- Las personas sensibles deben exponerse al polen sensibilizante.

En la tabla 3 se muestran las familias junto con los géneros productores de alergia al polen (Lewis et al., 1983; D’Amato et al., 2007).

Tabla 3. Plantas productoras de polen alergógeno. ***= polen altamente alergógeno; **= alergenidad media; *= alergenidad baja.

Aceráceas: <i>Acer</i> **
Amarantáceas: <i>Quenopodiáceas: Atriplex</i> ** <i>Chenopodium</i> ** , <i>Beta</i> ** , <i>Salsola</i> **
Anacardiáceas: <i>Pistacia</i> **
Arecáceas: <i>Phoenix</i> ** , <i>Areca</i> **
Asteráceas: <i>Ambrosia</i> *** , <i>Artemisia</i> *** , <i>Helianthus</i> ** , <i>Taraxacum</i> , <i>Xanthium</i> ***
Betuláceas: <i>Betula</i> *** , <i>Alnus</i> ** , <i>Corylus</i> **
Brasicáceas: <i>Brassica</i> *
Cannabáceas: <i>Cannabis</i> **
Casuarináceas: <i>Casuarina</i> *
Ciperáceas: <i>Carex</i> ** , <i>Scirpus</i> **
Cupresáceas: <i>Cupressus</i> ** , <i>Juniperus</i> ** , <i>Cryptomeria japonica</i> *** , <i>Thuja</i> **
Euforbiáceas: <i>Mercurialis</i> * , <i>Ricinus</i> *
Fabáceas (s.l): <i>Acacia</i> ** , <i>Ceratonia</i> * , <i>Medicago</i> * , <i>Trifolium</i> * , <i>Robinia</i> *
Fagáceas: <i>Castanea</i> ** <i>Fagus</i> ** , <i>Quercus</i> *
Hipocastanáceas: <i>Aesculus</i> *
Juglandáceas: <i>Juglans</i> **
Malváceas: <i>Tilia</i> *
Mirtáceas: <i>Eucalyptus</i> *
Moráceas: <i>Broussonetia</i> ** , <i>Morus</i> **
Oleáceas: <i>Olea</i> *** , <i>Fraxinus</i> ** , <i>Ligustrum</i> ** , <i>Syringa</i> **
Pináceas: <i>Pinus</i> * , <i>Cedrus</i> *
Plantagináceas: <i>Plantago</i> **
Platanáceas: <i>Platanus</i> *
Poáceas***: <i>Agrostis</i> , <i>Anthoxanthum</i> , <i>Bromus</i> , <i>Festuca</i> , <i>Phleum</i> , <i>Poa</i> , <i>Cynodon</i> ,....
Poligonáceas: <i>Rumex</i> **
Rosáceas: <i>Rosa</i> * , <i>Spirea</i> * , <i>Crataegus</i> *
Salicáceas: <i>Salix</i> ** , <i>Populus</i> **
Simaroubáceas: <i>Ailanthus</i> **
Tamaricáceas: <i>Tamarix</i> *
Tifáceas: <i>Typha</i> **
Ulmáceas: <i>Ulmus</i> *
Umbelíferas: <i>Daucus</i> *
Urticáceas: <i>Urtica</i> * , <i>Parietaria</i> ***

Según la relación anterior, en su mayoría son plantas anemófilas. De manera general, el polen de Gramíneas es el que más casos de alergia en el mundo, dado la distribución cosmopolita de la familia. En Norte América es importante el polen de la compuesta anemófila *Ambrosia* (Lewis et al., 1983). En centro Europa cobra mucha importancia el polen de *Betula*, mientras que en países mediterráneos, el polen de *Olea* es responsable de gran parte de alergias (D'Amato et al., 2007). En España y en Andalucía en concreto, los tipos polínicos de gramíneas y olivo son los más alergénicos (Martínez-Bracero et al., 2015). Estas consideraciones se acompañan con las imágenes de las figuras 20 y 21. En la figura 20 se muestra el porte de algunas plantas productoras de polen y en la figura 21 aparecen distintos tipos polínicos teñidos y observados al microscopio óptico.



Figura 20. Porte de plantas anemófilas- excepto *Artemisia*- productoras de polen alergénico. De Izda. a Dcha. Arriba: *Alnus*, *Cupressus* y *Platanus*. Centro: *Parietaria*, *Rumex* y *Olea*. Abajo: *Phleum*- Graminae-, *Chenopodium* y *Artemisia*. Wikipedia y Wikispecies.

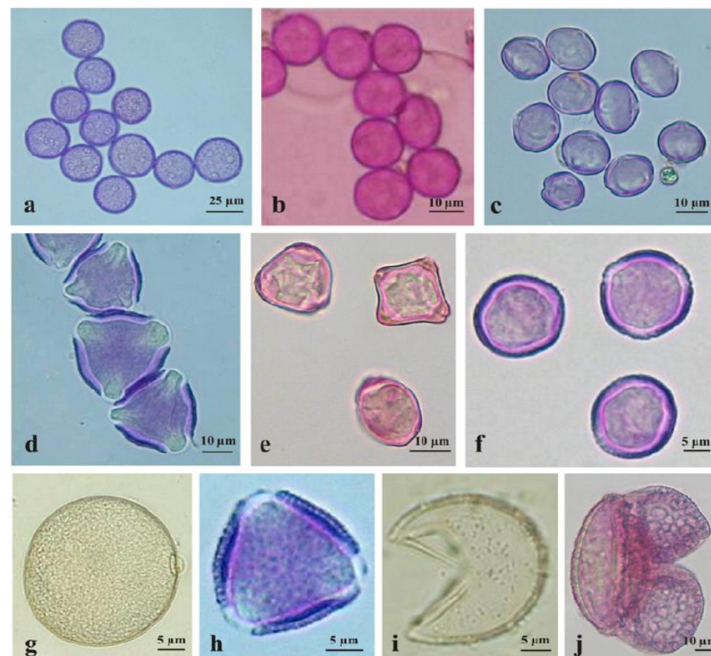


Figura 21. Granos de polen observados en el sur de Europa. A *Plantago* sp. B *Parietaria* sp. C *Castanea* sp. D *Quercus* sp. E Myrtaceae. F *Platanus* sp. G Poaceae. H Oleaceae. H *Cupressus* sp. G. Pinaceae (Camacho, 2015).

Métodos de recogida del polen. Tradicionalmente, las concentraciones de polen en el aire se estiman a partir de análisis basados en la identificación y cuantificación por microscopía óptica. Sin embargo, la clasificación de los tipos de polen a nivel de especie empleando este procedimiento es limitada debido a que las características morfológicas de los granos de polen utilizados para su reconocimiento son frecuentemente compartidas dentro de géneros, familias e incluso órdenes taxonómicos. Últimamente, la identificación del polen mediante secuenciación molecular y análisis de ADN se ha propuesto como un enfoque alternativo, aunque aún no se ha implementado en la rutina diaria (Rojo et al., 2019). Uno de los métodos más conocido sea el propuesto por Hirst (1952) comercializado por diferentes empresas y en diversas versiones, dado que aspira 10 litros por minuto - cantidad que respira un ser humano-. La Red Española de Aerobiología (REA) (www.uco.es/aerobiologia/metodologia/captacion) ha optado en los últimos 30 años por este tipo de captador de succión. La REA utiliza de forma normalizada captadores de partículas volumétricos por succión, basados en el principio del impacto (Hirst, 1952) (Figura 22). Estos

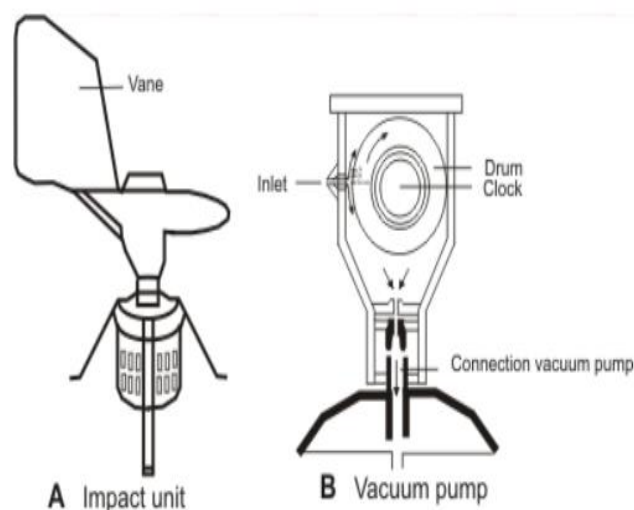


Figura 22. Aparato volumétrico tipo Hirst (1952).

captadores permiten obtener datos homologables independientemente de las características biogeográficas y bioclimáticas de la zona en la que se realice el muestreo ya que entre sus objetivos están: obtener un registro continuo de la atmósfera o realizar muestreos cortos e intermitentes, disponer de recuentos horarios, diarios o semanales, identificar y realizar un conteo del número total de partículas- polen, esporas y otros, viables en el aire.

Calendarios polínicos. Un calendario polínico es una representación gráfica de la variación a lo largo del año de las concentraciones de distintos tipos de polen expresadas en granos/m³ de aire. Existen varios modelos de representación, aquellas que usa concentraciones diarias absolutas, medias de varios días o incluso mensuales. Un calendario polínico nos debe proporcionar la fecha de comienzo y final para cada tipo de su presencia en el aire, el periodo de mayor incidencia polínica (pueden ser días, de una a muchas semanas) y el porcentaje de representación de cada tipo en el cómputo total anual.

Un calendario polínico no es estático, sino dinámico. Cada año pueden cambiar los parámetros anteriores debido a los factores meteorológicos previos o paralelos a la emisión polínica. También un calendario puede cambiar con la introducción o desaparición de especies

ornamentales. En primer término, un calendario nos va a ser un reflejo de la flora anemófila de cada lugar, por lo cual dependerá de la geografía cercana. En estos recuentos pueden introducirse tipos de polen que viajan muchos kilómetros (Oteros et al., 2015). Lo ideal es contar con una serie de años lo más extensa posible (con las anotaciones meteorológicas) y de esta forma poder beneficiarse de sus múltiples aplicaciones. Desde el punto de vista sanitario serían:

Conocer los tipos polínicos de cada región geográfica, su relevancia y época de aparición en el aire, para que el alergólogo tenga una información más precisa a la hora de instaurar a cada individuo un tratamiento más adecuado.

Hacer previsiones acorto o medio plazo, contando con los datos meteorológicos, de la presencia de un cierto tipo de polen, de tal forma que el paciente pueda usar mejor la medicación y poner en práctica las medidas preventivas que estime oportunas (uso de mascarillas, no salir al exterior, etc.) En este sentido, esta información se ofrece a través de medios de comunicación, internet, aplicaciones móviles.

En la figura 23 se muestra un ejemplo del calendario polínico de Sevilla, en el que se puede observar (al contrario de lo que ocurre en muchas esporas de hongos) una estacionalidad en la presencia de cada tipo en el aire. Si comparamos esta imagen con la de otras ciudades veríamos que son muy diferentes.

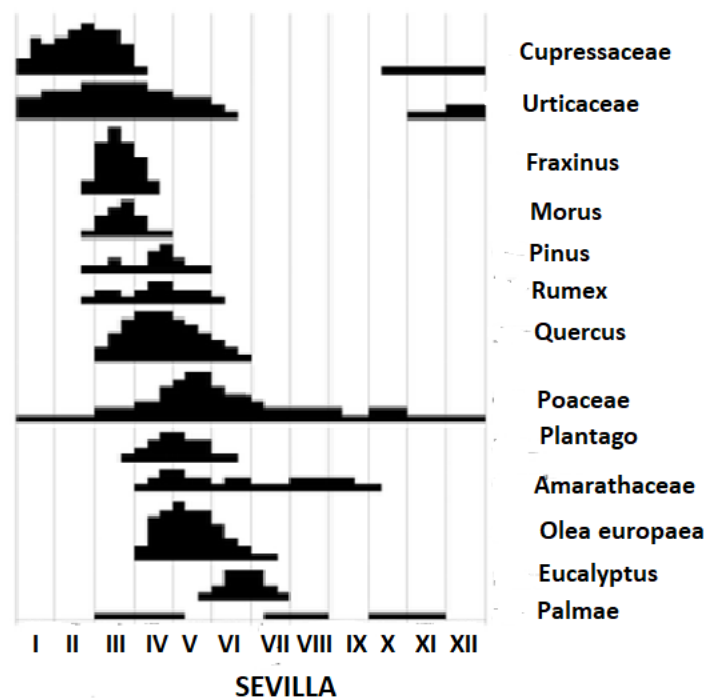


Figura 23. Calendario polínico mostrado mediante una escala semicuantitativa de Sevilla (Martínez-Bracero et al., 2015).

La alergia provocada por el polen, también conocida como “rinitis estacional” o polinosis está mediada por un tipo de hipersensibilidad inmediata (Tipo I), alergia atópica (reacción anómala que está fuera de lugar). El organismo reacciona frente a alérgenos solubles mediante una respuesta de tipo IgE con una respuesta casi inmediata. La IgE activa a los mastocitos induciendo en ellos la síntesis y excreción de moléculas vasoactivas (histamina, leucotrienos, etc.). En una primera exposición al alérgeno, los linfocitos Th2 inducen la activación de linfocitos B, secretores de IgE, lo que activará al mastocito. En una segunda exposición, el mastocito “cebado” secretará las sustancias vasoactivas, desencadenándose la reacción alérgica (Regueiro y López-Larrea, 1998) (Figura 24). Los síntomas habituales de esta inflamación son:

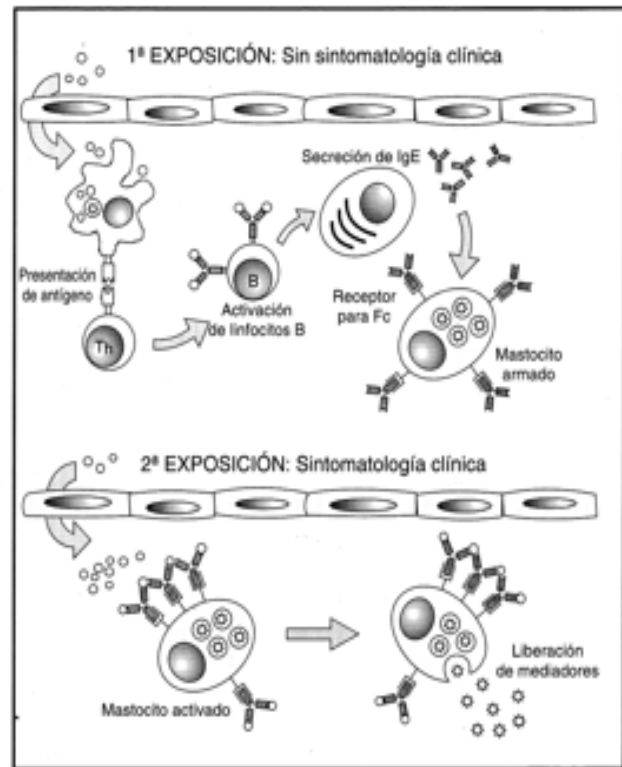


Figura 24. Mecanismo inmunológico de una reacción de Hipersensibilidad Tipo I. Véase texto.

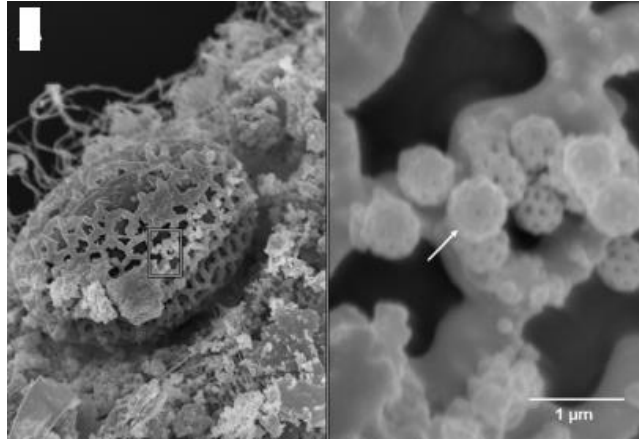
Estornudos en salvas; Rinorrea; Conjuntivitis alérgica; Congestión nasal; Picazón en la nariz; la boca o la garganta, Picazón en la piel, Goteo post-nasal, Tos; Letargo; Malestar; Deterioro del sueño causado por dificultad para respirar; Sibilancias. Si el alérgeno penetra en vías respiratorias más profundas produce un síndrome más grave llamado asma alérgico, caracterizado por la dificultad al respirar por el estrechamiento y excesiva secreción de moco de las cavidades bronquiales (Regueiro y López-Larrea, 1998).

Como se puede deducir, el concepto de alergia desarrollado de forma amplia para el caso del polen y extrapolable a esporas de hongos y otros restos vegetales, se basa en la exposición a un alérgeno. Un alérgeno tiene un perfil bioquímico eminentemente proteico. Se encuentran en animales como vegetales (pan-alérgenos). Los más conocidos son (Asam et al., 2015):

- *Proteínas transportadoras de lípidos (LTP)*: presentes en alimentos vegetales y algunos frutos secos.
- *Polcalcinas*: son proteínas fijadoras de calcio que se encuentran en el polen de árboles, de hierbas en general y de gramíneas.
- *Homólogos de Bet v 1*: proteínas parecidas al polen de abedul.

- *Profilinas*: proteínas presentes en vegetales, polen, látex y veneno de algunos insectos (como las abejas, avispas y abejorros).

Brito et al. (2011) reportaron que pacientes alérgicos tuvieron una respuesta compleja de anticuerpos IgE a los alérgenos de *Olea europaea*, que incluía 3 o más alérgenos en el 75 % de los casos. Los alérgenos mayoritarios fueron *Ole e 1*, *Ole e 2* (profilina), *Ole e 7* (proteína transportadora de lípidos), *Ole e 9* (glucanasa) y *Ole e 10* (Figura 25). El 30% de los pacientes que padecían polinosis presentaban simultáneamente



alergia a alimentos vegetales. Esta reactividad cruzada es manifiesta en el caso de polen de Poaceae (Popescu, 2015), Cupressaceae, Oleaceae (*Olea*, *Fraxinus*, *Syringa*, *Ligustrum*) y Betulaceae (*Betula*, *Alnus* y *Corylus*) (Asam et al., 2015) (Figura 26).

Figura 25. Fotografía al M.E. de pared de polen de olivo. A la derecha, partículas esféricas, posibles alérgenos (Brito et al., 2011).

El diagnóstico de la polinosis según la Sociedad Española de Alergología e Inmunología Clínica (SEIAC) lo realiza el médico y se basa en los siguientes medios:

- Historia clínica: en la mayor parte de los casos existe una correlación directa entre los síntomas y la exposición ambiental al polen.
- Estudio alérgológico: se realiza mediante pruebas cutáneas (*Prick-Test*) con un extracto del alérgeno que se sospecha.
- Otras pruebas complementarias son: la determinación en sangre de unas inmunoglobulinas, en especial IgE específica, las pruebas funcionales respiratorias si se padece de asma, las pruebas de provocación específica con alérgeno (conjuntival, nasal o bronquial), análisis de sangre, estudio de exudado nasal, rinomanometría, y examen radiológico, entre otros <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/enfLesiones/enfNoTransmisibles/alergias.htm>.

Según la SEIAC, el tratamiento de la polinosis se basa en evitar la exposición al alérgeno. Los pacientes deben ser informados sobre el comienzo, duración y finalización de aquellos tipos de polen a los que tienen alergia, para que de esa manera sepan cuando deben de iniciar y finalizar las medidas de evitación y tratamiento medicamentoso. Los recuentos diarios de tipos polínicos que se ofrecen en los medios de comunicación, también pueden ser de ayuda para este objetivo. Estos recuentos se informan como granos por metro cúbico, y es muy importante conocer su

concentración atmosférica cada día, porque así, al saber aproximadamente qué concentración de tipos de polen desencadena los síntomas, se adoptan las medidas de prevención necesarias. A esto habría que añadir fármacos como antihistamínicos, corticoides tópicos,.. y la inmunoterapia “vacunas”, siempre según el criterio médico.

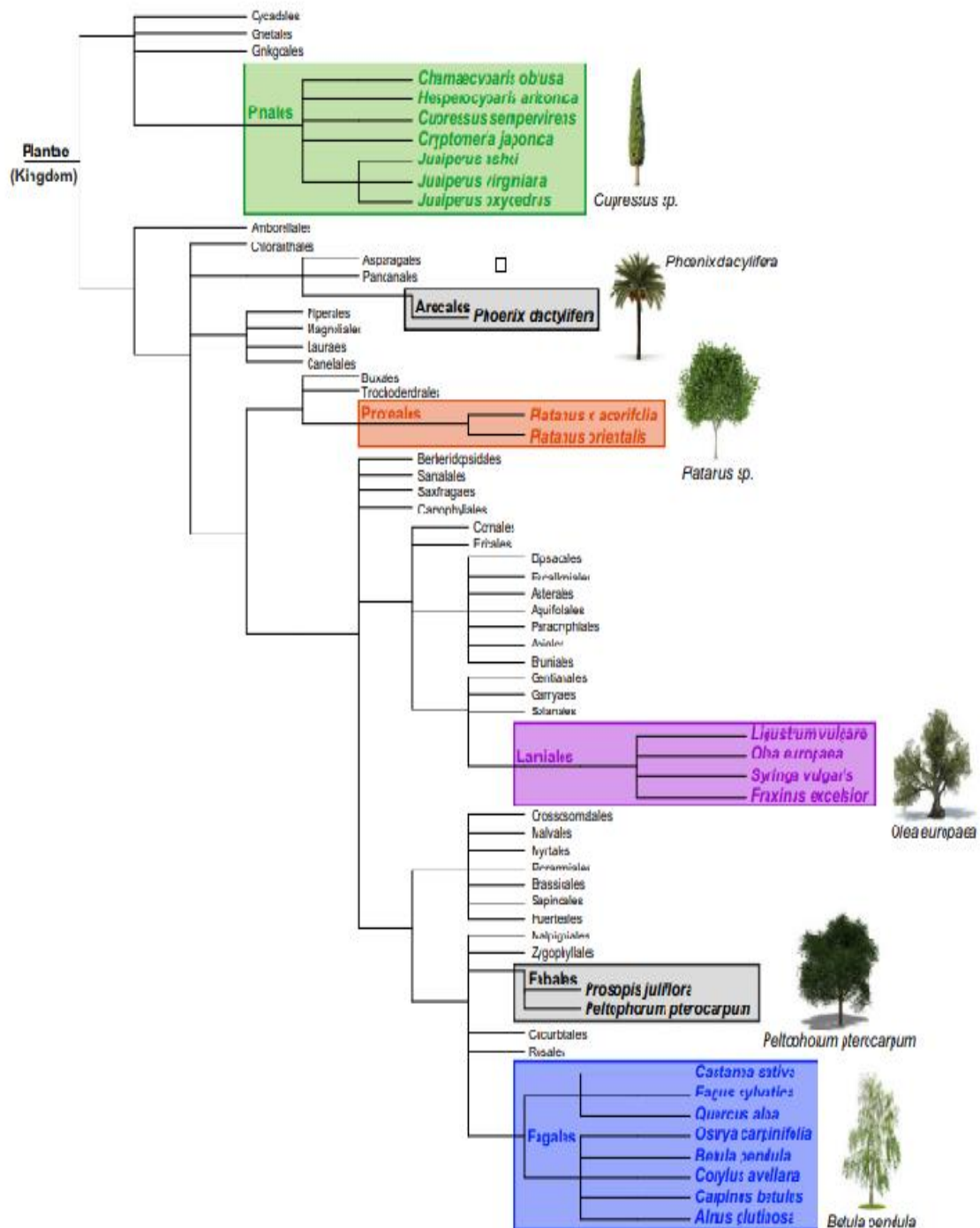


Figura 26. Árbol filogenético de órdenes de plantas, basado en la taxonomía NCBI (<http://phylogeny.biobyte.de/>). Los órdenes taxonómicos que contienen especies que han sido reconocidas por la base de datos de nomenclatura de alérgenos de la OMS/IUIS (www.allergen.org) están resaltados en color (Pinales en verde, Proteales en rojo, Lamiales en púrpura, Fagales en azul) (Asam et al., 2015).

Para concluir este trabajo, queremos acabar con la siguiente reflexión que explican la evolución epidemiológica de las alergias como son la contaminación atmosférica y el calentamiento global o cambio climático (como se desee) que tienen y tendrán incidencia en la evolución de este síndrome o patología. La prevalencia del asma y de las enfermedades alérgicas ha aumentado drásticamente durante las últimas décadas por la contaminación en países industrializados. La contaminación del aire urbano por los vehículos de motor se ha señalado como uno de los principales factores de riesgo. Aunque los factores genéticos son importantes en el desarrollo del asma y las enfermedades alérgicas, la tendencia al alza también se explica por los cambios ocurridos en el medio ambiente. A pesar de algunas diferencias en el perfil de contaminación del aire (existen tendencias decrecientes de algunos contaminantes atmosféricos clave), la calidad del aire es y sigue siendo una preocupación importante para la salud pública en las ciudades en todo el mundo (D'Amato et al., 2013).

4.5 Otros

Para completar este trabajo enumeramos de forma sintética otros elementos contenidos en bioaerosoles, tanto de origen animal, fúngico o vegetal que aparecen en la literatura científica, si bien dada su naturaleza molecular de muchos de ellos, hace que sus recuentos en el aire sean menos frecuentes. Muchos son de naturaleza proteica y se determinan mediante cromatografía o antígeno-anticuerpo (ELISA) por ejemplo.

Desde un punto de vista vegetal, se pueden confundir como aerosoles los vilanos (visibles) que diseminan los frutos de plantas como Compuestas, Salicáceas, *Platanus* sp. etc.

Sin embargo, la descarga de semillas de soja analizadas con muestreadores aerobiológicos y datos de IgE, fuera la responsable de ingresos masivos por asma en hospitales de Barcelona en 1997 (Pont et al., 1997). Los arpones de la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) han provocado urticarias, conjuntivitis, inflamaciones y alergias ocupacionales mediadas por IgE (Vega et al., 1999). En nuestros captadores de polen se han podido identificar estos elementos (dato no publicado).

Otros elementos causantes de alergias son las proteínas volátiles que provienen de las deyecciones de los ácaros - *Dermatophagoides pteronyssinus* y *D. faringe*- (la denominada alergia al polvo), deyecciones de roedores y caspa de animales domésticos (no del pelo en sí) y de animales de laboratorio. Al descamarse se originan pequeñas partículas, capaces de permanecer flotando en el aire durante largos períodos, y cuando son inhaladas, ocasionan síntomas alérgicos en nariz, ojos y vías respiratorias. Estas partículas caen lentamente y se depositan en el suelo o en el mobiliario; pero, ante pequeños movimientos, vuelven a suspenderse en el aire (Biagtan et al., 2014; Grace et al., 2015; Weinmann et al., 2020).

También es importante resaltar el caso de caso de *Naegleria fowleri*, es una ameba de vida libre que pertenece al filo Percolozoa. Las amebas de *Naegleria* están omnipresentes en el medio ambiente, se encuentran en el suelo y cuerpos de agua dulce y se alimentan de las bacterias que se encuentran en esos lugares. Pueden aerosolizarse y pasar por vía nasal al cerebro. Si bien la manifestaciones clínicas de la meningoencefalitis amebiana primaria son devastadoras y casi siempre mortales (Grace et al., 2015).

5. CONCLUSIONES

1. En el mundo científico no especializado, y en la población en general se desconoce el término Aerobiología, a pesar de estar rodeados por el aire e inspirar cada minuto unos diez litros de este fluido que no es estéril.
2. Según datos históricos, el término de Aerobiología derivó de la ciencia botánica por el interés social que despertó y que ha ido cobrado más interés, los fenómenos alérgicos al polen.
3. En las últimas décadas se ha incrementado el número de estudios sobre los bioaerosoles, en los que ya estudian con más profundidad los virus y bacterias transportadas por el aire.
4. En términos generales, el cuerpo humano posee un sistema inmunitario capaz de neutralizar la mayoría de las partículas transportadas por el aire. A esto ha contribuido medidas de higiene personal y medioambiental, campañas de vacunación y antibióticos.
5. Se puede decir con estas premisas que el aire (en países con una sanidad desarrollada) no es un medio especialmente transmisor de enfermedades, salvo cuando se producen alarmas producidas recientemente por los virus o se trata de casos de situaciones ocupacionales.
6. Según los resultados, las afecciones por hongos son globales y las del polen dependen de la geografía y son estacionales. Mientras los brotes de virus y bacterias son ocasionales. En este punto hay que considerar los efectos coadyuvantes de la contaminación atmosférica en enfermedades respiratorias.
7. En definitiva, este es un trabajo sintético, cuyos resultados un farmacéutico/a debe tener conocimiento y en el que hay que seguir investigando en todos sus puntos.

6. BIBLIOGRAFÍA

Accorsi C, Bandini Mazzanti M, Romano B, Frenguelli G, Mincigrucci G: Allergenic pollen: morphology and microscopic photographs. In: *Allergenic pollen and polinosis in Europe*. ed. D'Amato G, ThM Spieksma ThM, Bonini S. Blackwell Scientific Publications Ltd. 1991. pp. 24-35.

Aislamiento, cultivo e identificación de virus (en línea) [Consultado en mayo de 2023]. Disponible en: <https://espanol.libretexts.org/Biologia/Microbiologtax/0aglutinaci%>.

Alexopoulos S, Mims S. *Introducción a la Micología*. Omega: Barcelona. 1985.

Andersen GL, Frisch AS. Collins Ft, Kellogg CA, Levetin E. Lighthart B, Paterno D. Miromicrobiology/Air Quality. Encyclopedia of Microbiology 3 ed. Elsevier. 2009.

Asam C, Hofer H, Wolf M, Aglas L, Wallner M. Tree pollen allergens—an update from a molecular perspective. *Allergy*. 2015; 70: 1201–1211.

Bar-On YM, Flamholz A, Phillips R, Mio R. SARS-CoV-2 (COVID-19) by the numbers. *eLife*. 2020; 9

Beggs, P.J.; Šikoparija, B.; Smith, M. Aerobiology in the International Journal of Biometeorology, 1957–2017. *Int J Biometeorol*. 2017; 61: 51–58.

Biagtan M, Viswanathan R, Bush RK. Inmunoterapia para la sensibilidad a los ácaros del polvo doméstico: ¿dónde están las lagunas de conocimiento? *Curr Allergy Asthm*. 2014; 14:482.

Bowers RM. Clements N, Emerson JB, Wiedinmyer Ch, Hannigan MP, Fierer N. Seasonal Variability in Bacterial and Fungal Diversity of the Near-Surface Atmosphere. *Environ Sci Technol*. 2013; 47: 12097–12106.

Brady MF, Sundreshan V. Legionnaires, Disease. 2022 (en línea) [Consultado en mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430807/>

Brito FF, Mur-Gimeno P, Carnés J. et al. *Olea europaea* pollen counts and aeroallergen levels predict clinical symptoms in patients allergic to olive pollen. *Ann Allergy Asthm Immunol*. 2011; 106:146-152.

Calisher C, Briese T, Rodney-Briste J. et al. Strengthening the Interaction of the Virology Community with the International Committee on Taxonomy of Viruses (ICTV) by Linking Virus Names and Their Abbreviations to Virus Species. *Syst. Biol*. 2019; 68:828–839.

Camacho I. Collaboration in the editorial work: Pollen grains as airborne allergenic particles. 2015 (en línea) [Consultado en: junio 2023] Disponible en: [Researchgate.net/publication/291355424](https://www.researchgate.net/publication/291355424)

Captadores de la Red Española de Aerobiología (REA) (en línea) [Consultado en: junio de 2023] Disponible en: <http://www.uco.es/aerobiologia/metodologia/captacion.html>

Carnés J. El paciente alérgico, ¿nace o se hace? 2015 (en línea) [Consultado en: junio de 2023] Disponible en: <https://jeronimocarnes.wordpress.com/tag/thommen/>

Cox, C.S. The Aerobiological Pathway of Microorganisms; John Wiley & Sons: Chichester, UK. 1987.

Crous PW, Rong IH, Wood A. How many species of fungi are there at the tip of Africa? *Studies in Micol.* 2006; 55: 13–33.

D'Amato GD, Cecchi L, Bonini S. Allergenic pollen and pollen allergy in Europe. *Allergy.* 2007; 62:976-990.

D'Amato G, Baena-Cagnani CE, Cecchi L, Annesi-Maesano I, Nun C. Climate change, air pollution and extreme events leading to increasing prevalence of allergic respiratory diseases. *Multidiscipl Resp Med.* 2013; 8:12.

de la Rosa MC, Mosso MA, Ullán C. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. *Obs. medioambient.* 2002; 5: 375-402.

Definición de virus [Consultado en mayo de 2023] Disponible en: <https://www.nature.com/scitable/definition/virus-308/>

Delort A, Amato P. *Microbiology of Aerosols*. In: Amato, P., Delort, A.-M., (Eds.), John Wiley & Sons.2018.

Diagnóstico y Tratamiento de la polinosis. SEIAC (en línea) [DConsultado en: junio de 2023] Disponible en: <https://www.sanidad.gob.es/ciudadanos/enfLesiones/enfNoTransmisibles/alergias.htm> .

Duquenne P. On the Identification of Culturable Microorganisms for the Assessment of Biodiversity in Bioaerosols. *Ann Work Exp Health.* 2018;62: 139–146.

Ellis MB. Más hifomicetos dematiáceos. Instituto Micológico de la Commonwealth: Kew.1976.

Fernández-Rodríguez S, Tormo-Molina R, Maya-Manzano JM, Silva-Palacios I, Gonzalo-Garijo A. Outdoor airborne fungi captured by viable and non-viable methods. *Fungal ecology.* 2014; 7:16-26.

Fernstrom, A.; Goldblatt, M. Aerobiology and Its Role in the Transmission of Infectious Diseases *J Pathog.* 2013; 1–13.

Frenguelli G, Mincigrucci G, Bricchi E, Romano B: Pollini allergenici: morfologia e aspetti microscopici. *Giorn It Allergol Immunol Clin.* 1991; 1:389-401.

Frenguelli G. Pollen structure and morphology. *Postepy Dermatologii i Alergologii.* XX; 2003/4.

Gioulekas D, Damialis A, Mpalafoutis C, Papakosta D, Gioulekas P Patakas D. Allergenic fungal spore records (15years) and relationship with meteorological parameters. *J World Allergy Org.* 2004; 16/2.

Golan J, Pringle A. Long-Distance Dispersal of Fungi. *Microbiol spectr.* 2017; 54.5.

Grace E, Asbill S, Virga K. *Naegleria fowleri*: Pathogenesis, Diagnosis, and Treatment Options. *Antimicrob Agents Chemother.* 2015; 59: 6677–6681.

Grant-Smith E. *Muestreo e identificación de pólenes y mohos alérgicos*. Piedra de gol prensa: San Antonio.1984.

Gregory PH. *The Microbiology of the Atmosphere*. Ed. Leonard Hill. Plymouth. 1973.

- Grinshpun SA, . Buttner MP, Mainelis G, K Willeke. Sampling for Airborne Microorganisms. Manual of Environmental Microbiology, Fourth Edition. 2016 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1128/9781555818821.ch3.2.2>
- Hawksworth DL, Kirk PM, Sutton BC, Pegler DN. Diccionario de los hongos (Ainsworth & Bisby's). 8ª ed. CAB Internacional: Londres. 1995.
- Hinds WC. *Aerosol Technology* (2nd ed.). Wiley – Interscience. 1999.
- Hirst JM. “An automatic volumetric spore-trap”. *Ann Appl Biol.* 1952; 39:257-265
- Horner N, Helbling U, Salvaggio JE, Lehrer SB Fungal allergens. *Clin Microbiol Rev.* 1995;8: 161-79.
- Hudson SD, MunsterVJ. Nosocomial Transmission of Emerging Viruses via Aerosol-Generating Medical Procedures. *Viruses.* 2019; 11: 940.
- Hughes KM, Price D, Torreiro AAJ, Symonds MRE, Suphioglu C, Price D. Impact of Fungal Spores on Asthma Prevalence and Hospitalization. *Intr J Mol Sci* 2022;23: 4313.
- Kaarik A, Keller J. Kiffer E, Perreau J, Reisinger, O. *Atlas of airborne fungal spores in Europe.* In S. Nilsson (Ed.). Berlin: Springer-Verlag. 1983.
- Lancia A, Capone P, Vonesch N, Pelliccioni A, Grandi C, Magri D, D'Ovidio MC. Research Progress on Aerobiology in the Last 30 Years: A Focus on Methodology and Occupational Health, *Sustainability.* 2021;13: 4337.
- Levetin E, Horner WE, Scott JA. Taxonomy of allergenic fungi. *J Allergy Clin Immunol.* 2016; 4:375-385.
- Lewis WH, Vinay P, Zenger VE. *Airborne and allergenic pollen of North America.* The Johns Hopkins University Press: Baltimore.1983.
- Liu H, Hu Z, Zhou M et al. The distribution variance of airborne microorganisms in urban and rural environments. *Environ Poll.* 2019; 247: 898-906.
- Luten J. Virus transmission and epidemiology. *Ess. Hum. Vir.* 2016
- Mancinelli RL, Shulls WA. HULLS Airborne Bacteria in an Urban Environment. *Appl Environ Microbiol.* 1978; 35: 1095-1101.
- Mandrioli, P, Ariatti, A. Aerobiology: Future course of action. *Aerobiol.* 2001; 17:1–10.
- Martinez-Bracero M, Markey E, Clancy JH, McGillicuddy EJ, Sewell G, O'Connor D. Airborne Fungal Spore Review, New Advances and Automatisations. *Atmosphere.* 2022; 13.
- Martínez-Bracero M, Alcázar P, Díaz de la Guardia C, González-Minero FJ, Ruiz L, Trigo MM, Galán C. Pollen calendars: a guide to common airborne pollen in Andalusia. *Aerobiologia.*2015; 31: 449–557.
- Nilsson S. Aerobiology: An interdisciplinary and limitless science. *Ind J Aerobiol.* Special Vol. 1992. 23-27.
- Nowoisky JF, Kampf C, Weber B. et al. Bioaerosols in the Earth System: climate, health and ecosystem interaction. *Atmof Res.* 2016; 186:346-376.

- Oteros J, García-Mozo H, Alcázar P et al. A new method for determining the sources of airborne particles. *J Environ Manag.* 2016; 155: 212-218.
- Pathirane L. 1975. Aerobiological literature in scientific periodicals. *Grana.* 1975; 15: 145-147.
- Plà-Dalmau JM. *Estudios palinológicos y precisiones morfológicas sobre los granos de polen de quinientas especies botánicas del extremo NE de España.* Tesis Doctoral. Facultad de Farmacia. Univ. Barcelona: Barcelona. 1960.
- Pont F, Gispert X, Cañete C, Pinto E, Dot D, Monteis J. Epidemia de asma por soja en L'Hospitalet de Llobregat (Barcelona). *Arch Bronconeumol.* 1997; 33:453-456.
- Popescu FD. Cross-reactivity between aeroallergens and food allergens. *World J Methodol.* 2015; 5:21-50.
- Priotowska-Weryszko K. Pollen production in selected species of anemophilous plants. *Act Agrobot.* 61:41-52.
- Ramli NA, Fitri NF, Yusof Md, Shith S, Suroto A. Chemical and Biological Composition Associated with Ambient Respirable Particulate Matter: a Review. *Water Air Soil Pollut.* 2020;120: 231.
- Rebanta KC, Baradhi KM 2022. (en línea) Consultado en: mayo en 2023] Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK546668/>
- Regueiro JR, López-Larrea C. *Inmunología. Biología y patología del sistema inmune.* Ed. Médica Panamericana: Madrid. 1998.
- Rojo J, Núñez A, Lara B, Sánchez-Parra B, Moreno DA, Pérez-Badía R. Comprehensive analysis of different adhesives in aerobiological sampling using optical microscopy and high-throughput DNA sequencing. *J Environ Manag.* 2019; 240:441-450.
- Ruiz-Gil T, Acuña J, Fujiyoshi S. et al. Airborne bacterial communities of outdoor environments and their associated influencing factors. *Environ Inter.* 2020; 106156.
- Sánchez-Reyes E. Special Issue "Airborne Fungal and Pteridophyte Spores". *Atmosphere.* 2023 (in press, April 2023).
- Smith DJ, Ravichandar JD, Jain S. et al. Airborne Bacteria in Earth's Lower Stratosphere Resemble Taxa Detected in the Troposphere: Results From a New NASA Aircraft Bioaerosol Collector (ABC). *Front Microbiol.* 2018; 9.
- Spatafora JW, Chang Y, Benny L. et al. Schematic phylogeny and classification of the early-diverging fungi and related taxonomic groups principally based on Spatafora et al. (2016). A phylum-level phylogenetic classification of zygomycete fungi based on genome-scale data. *Micol.* 2016; 108: 1028–1046.
- Taxonomía de los virus (en línea) [Consultado en mayo de 2023] Disponible en: <https://ictv.global/taxonomy>
- Tormo-Molina R, Muñoz-Rodríguez AF, Silva-Palacios I, Gallardo-López I. Pollen production in anemophilous trees. *Grana.* 1996; 35:38-46.
- Type of fungal diseases (en línea) [Consultado en: mayo de 2023] Disponible en: <https://www.cdc.gov/fungal/diseases/index.html>.

Vanechoutte M, Heyndrickx M. Application and Analysis of ARDRA Patterns in Bacterial Identification, Taxonomy and Phylogeny, , in *New Approaches for the Generation and Analysis of Microbial Typing Data*, 2001.

Vega JM, Moneo I, Armentia A, Vega J, de la Fuente R, Fernández A. Pine processionary caterpillar as a new cause of immunologic contact urticaria. *Rev Esp Alergol Immunol Clín*. 1999; 43:129-32.

Wang Ch C, Prther A, Sztiman J et al. Airborne transmisión of respiratory viruses. *Science*. 2021; 373.

Wei M, Xu C, Zhu Ch, Li J, Lv G. Size distribution of bioaerosols from biomass burning emissions: Characteristics of bacterial and fungal communities in submicron (PM_{1.0}) and fine (PM_{2.5}) particles. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2019; 171: 37-46.

Weinmann MA, Weinmann E, González-Díaz C, Betancourt-Sánchez, D. 2020. Sensibilización a alérgenos de animales de laboratorio. *Revista Fesahancccal*. 5:23-27.

WHO. World Health Organization 7 millions deaths annually linked to air pollution. *Central European J Public Health*. 2014; 22: 45-59.

Wiśniewska KA, Śliwińska-Wilczewska S, Lewandowska AU. Airborne microalgal and cyanobacterial diversity and composition during rain events in the southern Baltic Sea región. *Nature/Scientifics*.2022; 12:209.

Zaragoza-Hernández O. *Los hongos microscópicos ¿amigos o enemigos?* Instituto Carlos III: Madrid. 2018.