

SALUD, ALÉRGENOS Y CAMBIO CLIMÁTICO

Carmen Galán Soldevilla

Académico Correspondiente

RESUMEN

PALABRAS CLAVE

Aerobiología.
Fenología.
Alergia.
Cambio climático.
Salud ambiental.

El reciente cambio climático está provocando importantes impactos sobre los ecosistemas, especialmente sobre la biodiversidad y la fenología de plantas y animales. Recientes estudios ponen en evidencia los cambios que se están produciendo en estos procesos durante las últimas décadas. Estos cambios están jugando un papel importante en salud ambiental; como ejemplo, el aumento considerable en los casos de alergia polínica entre la población. Se ha tratado de presentar evidencias científicas que permitan aplicar medidas de mitigación y de adaptación.

ABSTRACT

KEYWORDS

Aerobiology.
Phenology.
Allergy.
Climate change.
Environmental health.

The recent climate change is causing significant impacts on ecosystems, especially on biodiversity and phenology of plants and animals. Recent studies highlighting the changes of these processes during the last decades. These changes play an important role in environmental health; as an example, the considerable increase on pollen allergy among the population. Scientific evidences have been presented to take mitigation and adaptation measures that prevent this increase and its extension.

1. INTRODUCCIÓN

Los cambios del clima han venido ocurriendo a lo largo de toda la historia geológica del Sistema Tierra, a través de procesos físicos, químicos y biológicos, que se encuentran interconectados entre sí, y a su vez con los continentes, océanos y mares, y atmósfera. Estos cambios del clima pueden tener distinto efecto sobre los ecosistemas y las especies. Durante las últimas décadas se vienen observando, no solo debido al calentamiento global, sino también por la fragmentación del hábitat y por cambios del uso de suelo (IPCC 2014).

Esta evolución del clima se viene presentando a diferente escala, tanto temporal como espacial, y está sujeta a procesos naturales internos, que ocurren dentro del sistema climático, y a procesos externos, por variaciones en el forzamiento debido a causas que pueden tener un origen natural o antropogénico. De hecho, el «Panel Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático» (IPCC, sus siglas en inglés) nos presenta, en su 5° informe de evaluación, que el sistema climático se está calentando a una velocidad sin precedentes, concluyendo que «es extremadamente probable que la influencia humana ha sido la causa dominante del calentamiento observado desde la mitad del siglo XX», dando prioridad al importante papel que han jugado la emisión de gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono, metano y óxidos de nitrógeno (IPCC 2014), por parte de la actividad productiva humana.

Ya en su 4° informe, el IPCC dedicó un capítulo particular al papel de la fenología como indicador del cambio climático (Rosenzweig et al., 2007), y en el 5° la asume como un tema de «alto interés» (Cramer et al., 2014). La fenología es la ciencia que estudia el comportamiento periódico y estacional de las plantas y los animales, estando sujeto a eventos influenciados por el medio ambiente, especialmente debido a cambios de temperatura que pueden estar provocados por el tiempo y el clima (Schwartz, 2013); la magnitud de estos cambios fenológicos depende de los límites de adaptación de las distintas especies. En realidad, las especies responden al cambio climático de diferente forma, dependiendo del grado de plasticidad genotípica y fenotípica (Hedhly et al., 2009); aunque las variaciones de temperatura y el alto grado de plasticidad de las plantas sugiere que las variaciones genéticas entre poblaciones pueden ser insignificantes cuando se comparan con cambios en la fenología reproductora (Chuine & Belmonte, 2004).

Para un mejor conocimiento del comportamiento fenológico de estas plantas, es necesario tener en cuenta posibles interacciones con otros componentes del cambio global (Fernández et al., 2005). Por ejemplo, la Oscilación del Atlántico Norte (NAO, sus siglas en inglés) juega un papel indirecto tanto en la fenología como en la intensidad de la floración. La NAO es la oscilación que existe en la masa atmosférica entre el alta presión subtropical y la baja polar. Esta oscilación se mide con un índice anual o estacional, siendo éste positivo o negativo. Su estado condiciona en gran parte la variabilidad invernal de muchas regiones, en especial en Europa noroccidental, influyendo en los patrones del tiempo «suave y húmedo vs. seco y soleado», especialmente en áreas más cercanas al Atlántico. El informe *Clima en España: pasado, presente y futuro* (Pérez & Boscolo, 2010), pone de manifiesto que, aunque el comportamiento de la NAO experimenta

variaciones estacionales, interanuales, decadales y multidecadales (Hurrell et al., 2003), este comportamiento ha variado recientemente, adoptando un carácter no estacional que puede llegar a justificar la diferente respuesta de las sequías a sus diferentes fases (i.e. López-Moreno y Vicente-Serrano, 2008), afectando de forma importante a la fenología y distribución de las plantas.

Estos estudios se vienen realizando a partir de observaciones fenológicas que se llevan a cabo en red desde hace décadas, a nivel nacional o regional. En Europa se cuenta con distintas redes de observaciones fenológicas de campo *in situ*, como la *International Phenological Garden* (IPG), fundada en 1957 por F. Schnelle y E. Volkert, por recomendación de la Comisión de Agrometeorología (CAgM) de la Organización Mundial de Meteorología (OMM). Otra red fenológica en Europa es la *Global Phenological Programme* (GPM), coordinada por la Universidad de Humboldt, como iniciativa del Grupo de Estudios Fenológicos de la Sociedad Internacional de Biometeorología. Para poder trabajar en red las observaciones fenológicas en campo deben realizarse a través de protocolos estandarizados que permitan generar bases de datos suficientemente largas para realizar estudios de tendencias de estas variables con los cambios del clima. Con el proyecto COST 725 (2004-2009), *Establishing a European Phenological Data Platform for Climatological Applications*, se llegó al acuerdo del uso de la escala BBCH (*Growth stages of mono-and dicotyledonous plants*) (Meier, 1997). En España contamos con la Red Fenológica de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que recientemente ha publicado el libro sobre *Selección de especies de interés fenológico en la Península Ibérica e islas Baleares* (Martínez Núñez et al., 2018). Dentro de la Red Española de Aerobiología (REA), algunos grupos de investigación cuentan con bases de datos fenológicas.

En la actualidad se está usando otra herramienta de trabajo que permite estudiar la fenología reproductora de algunas plantas, especialmente la fenología floral en plantas anemófilas. Se trata de la Aerobiología, una ciencia que estudia el contenido de microorganismos y partículas biológicas en la atmósfera, entre las que se encuentran los granos de polen que se transporta a través del aire. Se trata de plantas anemófilas que necesitan liberar grandes cantidades de polen para asegurar éxito en el proceso de polinización. En la actualidad el contenido de polen en el aire se considera como una medida de la fenología floral en este tipo de plantas, ofreciendo una información cuantitativa sobre el momento y la intensidad de la floración.

En cuanto a la intensidad de la floración, algunos estudios ponen en evidencia posible interacción con otros componentes del cambio global

que pueden justificar el aumento que se viene observando recientemente en especies que no se encuentran bajo procesos de alteración. En este caso, se presenta al CO₂ atmosférico que, junto a otros compuestos nitrogenados, favorecen la actividad biológica de las plantas y la fotosíntesis, lo que favorece un incremento en la intensidad floral (Fernández-González et al. 2005). Recientes estudios han puesto de manifiesto el papel que puede estar jugando este incremento de CO₂ en especies de floración anemófila a través del contenido de polen en el aire, tanto en Europa (Ziello et al., 2012) como en la Peninsular Ibérica (Galán et al., 2016).

En Aerobiología se viene trabajando también en red. En Europa contamos con una red de detección de polen y esporas presentes en el aire desde la década de los 80, *European Aeroallergen Network* (EAN) <https://ean.polleninfo.eu/Ean/>, coordinada por la Universidad de Viena, Austria. Distintas redes nacionales o regionales se encuentran implicadas en esta red, como es el caso de la *Red Española de Aerobiología* (REA) <https://www.uco.es/rea/>, una red federada con distintas redes a nivel regional que surgió en la década de los 90 y es coordinada desde su inicio desde la Universidad de Córdoba. Considerando redes que representan a regiones biogeográficas, destaca la MedAeronet <https://www.pollens.fr/ca-es/medaeronet/medaeronet>, red de detección de polen y esporas en la Cuenca del Mediterráneo. En todas estas redes europeas se cuenta con un protocolo estandarizado para el uso del aparato de detección polen y esporas, en su instalación, así como para la toma de datos y su manejo (Galán 2014). Recientemente contamos con la norma europea NF UNE 16868, titulada en español como «Ambiente atmosférico. Muestreo y análisis de granos de polen y esporas de hongos aerovagantes en redes relacionadas con la alergia – Método volumétrico tipo Hirst».

La mayor parte de los estudios realizados en Aerobiología se están enfocando al papel que juegan los granos de polen y las esporas de hongos en salud ambiental. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los casos de polinosis están aumentando de forma considerable, pasando de afectar a un 1% de la población al inicio del siglo XX hasta un 15–24% de la población en la actualidad.

En España, el Observatorio de Salud y Cambio Climático (OSCC) http://www.oscc.gob.es/es/general/home_es.htm, un observatorio interministerial que forma parte del Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad y del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se presenta como un «instrumento de análisis, diagnóstico, evaluación y seguimiento de los efectos del cambio climático en la salud pública y en el Sistema Nacional de Salud», teniendo en cuenta que el Plan Na-

cional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) presenta a la salud como uno de los sectores estratégicos, apostando por medidas, actividades y líneas de trabajo para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación en la salud. Dentro del OSCC están representados cuatro Grupos de Expertos, entre los que se encuentra el dedicado a la Calidad del Aire. El informe sobre *Impactos del Cambio Climático en la Salud* (2010) ha dedicado un especial interés al impacto del cambio climático en la composición atmosférica, presentando el papel que juegan los diferentes contaminantes, así como el contenido de polen y esporas que causan alergias en pacientes sensibles.

En esta ocasión se presentan a las plantas como bioindicadores del cambio climático a través de su comportamiento fenológico, periódico y estacional, las variaciones en su intensidad de la floración, y las migraciones que están ocurriendo, tanto a nivel altitudinal como latitudinal, provocando cambios en la distribución de las especies; indicando el impacto de estos cambios en salud ambiental, a través de los granos de polen como principal causa de alergias conjuntivo-respiratorias y asma.

2. CONTENIDO DE POLEN EN EL AIRE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Estudios aerobiológicos llevados a cabo en la Península Ibérica, ponen en evidencia el papel que juegan distintas especies anemófilas en diferentes regiones biogeográficas. La Región Eurosiberiana, con clima templado en el norte peninsular, está representada por una estrecha área geográfica, caracterizada por bosques caducifolios monoespecíficos, como los abedulares, alisedas, fresnedas, hayedos, choperas, olmedas y robledales, además de otros bosques mixtos. De todas estas especies, el polen de abedul representa una de las mayores causas de alergias entre la población en clima templado (D'Amato et al., 2007); los granos de polen de aliso, con altos niveles de reactividad cruzada con otras fágales, así como los del fresno, con reactividad cruzada con el olivo (D'Amato et al., 2007), pueden ser también causa de alergia en niveles moderados. La Región Mediterránea ocupa la mayor extensión en la península y está representada por una mayoría de bosques perennifolios de clima mediterráneo, como ejemplo las encinas, bien distribuidas por todo el mapa, los alcornoques, mejor representados en el oeste peninsular, o los acebuches en el sur; además de la presencia de otros tipos de bosques más dispersos con melojares, quejigales, o artificiales con pinares o eucaliptales, entre otros. En aquellos lugares de ribera, se encuentran representados los abedules, alisos, sauces, olmos, fresnos, entre otros, siendo el polen de fresno el mayor responsable de alergias en aquellos lugares donde se encuentra bien representado.

Algunas especies cultivadas son responsables de las mayores concentraciones de polen en el aire, como es el caso del olivo, detectándose los niveles más elevados en el sur, siendo una de las principales causas de alergia en Andalucía central-oriental (D'Amato et al., 2007; Cebrino et al., 2017). Por otro lado, los árboles ornamentales presentes en espacios verdes urbanos son responsables de un alto contenido de polen aerovagante en la ciudad, como es el caso del aliso, fresno, ciprés, plátano de sombra, entre otros, dependiendo del diseño de estos espacios verdes (Cariñanos et al., 2011). El polen de ciprés y de plátano de sombra son las principales causas de polinosis durante el invierno y la primavera temprana, respectivamente (Charpinet et al., 2005; Alcázar et al., 2015).

En el caso de las especies arbustivas y herbáceas, al ser más dependientes del patrón de lluvias, su distribución geográfica no está del todo bien definida como norte-sur, sino este-oeste. Como ejemplo, los amarantos, cenizos y artemisia están mejor representadas en zonas semiáridas del suroeste peninsular, mientras que las gramíneas, acederas o llantenes están mejor representadas en el sector atlántico continental, donde existe una mayor extensión de pastizal (Galán et al., 2016). Especies herbáceas silvestres en el medio urbano son también responsables del contenido de polen en el aire, como es el caso de las ortigas y parietaria, esta última presente en muros o edificios antiguos del casco histórico, con cierta importancia al presentar polen alergógeno (Velasco-Jiménez et al., 2014). Los granos de polen de gramíneas son la primera causa de polinosis en Europa (García-Mozo et al., 2017), el polen de parietaria es especialmente importante en zonas cercanas a la costa mediterránea (De Linares et al., 2019). Los granos de polen de llantenes, amarantos, cenizos y artemisia pueden provocar problemas de alergia a menor escala.

3. MIGRACIÓN DE LAS PLANTAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

En la naturaleza, los ecosistemas están continuamente experimentando cambios predecibles en un proceso constante de sucesión. Cada especie tiene una mayor o menor capacidad de adaptación durante la etapa de sucesión, pudiendo quedar más o menos representada, o incluso llegando a desaparecer. Dentro de las sucesiones se distinguen las primarias, donde la cobertura vegetal y la biomasa van aumentando de forma muy lenta en el tiempo; y la secundaria, donde el curso de la sucesión puede ser interrumpido por una perturbación. Esta segunda alteración provoca una sucesión más rápida, que puede ser generada por fuerzas naturales, como ejemplo, incendios forestales, inundaciones, sequías, deslizamientos de tierra, huracanes, plagas de insectos, entre otros; o por influencia antropogénica, co-

mo resultado de perturbaciones artificiales que suelen ser recurrentes, como la causada por diferentes actividades que van desde un simple pisoteo, hasta el uso de cortacésped, el arado, desmonte, el uso agrícola o ganadero, aplicación de pesticidas, las deforestaciones, construcción de carreteras y edificios, fertilización, contaminación, entre otros. Esto suele ocurrir en áreas periurbanas, ruderales, en tierras agrícolas o forestales abandonadas, donde predominan, como resultado, especies que pertenecen a las etapas más tempranas o intermedias de la sucesión. Se trata de plantas que tienen cierta facilidad para comportarse como pioneras, llegando en numerosas ocasiones a comportarse como invasoras. Todos estos cambios forzados han ido modelando el paisaje durante un periodo de tiempo relativamente corto para que las plantas puedan ajustarse a los rápidos avatares climáticos, quedando representadas solo aquellas especies que más rápido se adaptan a las nuevas condiciones ambientales. Como ejemplo de especies invasoras que están afectando a la salud ambiental, se encuentra *Ambrosia artemisiifolia*, una especie que teniendo su origen en América del Norte fue introducida a mediados del siglo XIX en la Llanura Panónica, especialmente en Hungría y países vecinos, estando bien distribuida en la actualidad por gran parte del Este y Centro Europa, siendo el polen de esta especie considerado como una de las principales causas de alergia durante el verano u otoño (Chen et al., 2018). Recientemente esta planta ha sido capaz de atravesar la barrera de los Pirineos, llegando a estar presente en el Noreste Peninsular (Fernández-Llamazares et al., 2012). Otro ejemplo muy reciente es la alerta en el norte peninsular con la llegada del plumero de la pampa, *Cortaderia seollana*. Desde la década de los 70 ha llegado a expandirse por el Arco Atlántico y es posible que su polen esté contribuyendo al aumento de casos de alergias al polen de gramíneas en esta zona.

En la Península Ibérica, además de las numerosas evidencias de migraciones de plantas y animales que vienen ocurriendo durante las últimas décadas, como resultado del cambio global, recientes estudios ponen de manifiesto importantes cambios a más largo plazo en el paisaje debido al cambio climático, considerando el aumento de las temperaturas y los importantes cambios en la distribución de las lluvias. Por ejemplo, en el capítulo de *Biodiversidad y Cambio Climático* (Fernández et al., 2005), de *Evaluación Preliminar de los Impactos en España por efecto del Cambio Climático* (Moreno et al., 2005), se presentó la evidencia de migraciones latitudinales, indicando que «la ‘mediterraneización’ del Norte de la Península Ibérica y la ‘aridificación’ del Sur son las tendencias más significativas para el próximo siglo», prediciendo un desplazamiento de las encinas y alcornoques hacia el norte peninsular a expensas de los bosques deciduos; así mismo, en relación a las migraciones altitudinales, se hace refe-

rencia a que «la ‘aridificación’ provocará una expansión de plantas localizadas a menor altitud hacia una mayor altitud, provocando la fragmentación del paisaje», con una especial expansión en climas semiáridos y áridos. Todos estos cambios paisajísticos van a repercutir en una mayor o menor exposición a especies con polen alergógeno.

4. TENDENCIAS EN LA INTENSIDAD DE LA FLORACIÓN

Estudios recientes en Europa ponen de manifiesto una tendencia al alza en la intensidad de floración durante las últimas décadas, especialmente para las plantas leñosas que florecen durante el invierno o primavera temprana (Ziello et al., 2012; Fernández-Llamazares et al., 2014; Galán et al., 2016). Este aumento en la intensidad de la floración puede deberse, en parte, al aumento de las emisiones de CO₂ en la atmósfera que favorece el desarrollo de la planta y la fotosíntesis (Rogers et al., 2006), o a otros cambios generados por la actividad humana, siendo esta tendencia más pronunciada en el medio urbano que en el medio rural o semirural, y mayor en el norte que en el sur de Europa (Ziello et al., 2012), donde la falta de disponibilidad de agua puede provocar una tendencia hacia una menor floración de la planta, especialmente en especies herbáceas (Alcázar et al., 2009; Recio et al., 2009). De hecho, en la Península Ibérica este aumento de la floración se ha observado en especies leñosas, mientras que en el caso de especies herbáceas la tendencia no se llega a detectar, o incluso ha llegado a ser negativa (Galán et al., 2016). Estas observaciones ponen de manifiesto que la falta de agua juega un papel limitante en la actividad de las plantas, excepto en el caso de especies que se encuentran bien adaptadas a la aridez en el sureste peninsular, como es el caso de los amarantos, quenopodios o artemisia (Galán et al., 2016).

Como se ha comentado anteriormente, la NAO juega un importante papel en la distribución de lluvias en la Europa occidental, siendo el índice NAO invernal uno de los mejores indicadores a la hora de presentar su variabilidad interanual. Por ejemplo, en la Península Ibérica, un índice NAO positivo significa un aumento en la presión norte/sur, generando una disminución de las precipitaciones; un índice NAO negativo disminuye la presión, provocando un aumento de las precipitaciones, y por consiguiente una mayor disponibilidad de agua para la vegetación. Por lo tanto, recientes estudios han puesto de manifiesto una correlación negativa entre este índice y la intensidad de la floración de algunas plantas, como ejemplo, en especies que florecen durante el invierno y la primavera temprana en la península occidental (Smith et al., 2009; Galán et al., 2016).

5. TENDENCIAS FENOLÓGICAS EN LA FLORACIÓN

En Europa, el aumento de la temperatura media anual de las últimas décadas se asocia con un avance en el inicio de la floración de las plantas; a escala regional, estos cambios de comportamiento son más evidentes en Europa occidental y Escandinavia, observándose diferentes ritmos y tendencias en Europa oriental; sin embargo, en la Región Mediterránea es importante considerar otras variables, especialmente las relacionadas con cambios en el patrón de lluvias y, por lo tanto, la disponibilidad de agua.

Aun así, la temperatura juega un importante papel, especialmente en las especies leñosas de clima templado de floración invernal o primaveral temprano, como la encina, la morera o el plátano de sombra. Las especies leñosas se encuentran sujetas a dos periodos de comportamiento que se alternan durante el año, un periodo de dormancia de las yemas otoñal e invernal y un periodo de crecimiento activo durante la primavera y el verano (Dahl et al., 2013). La dormancia coincide con el periodo de exposición de la planta ante condiciones desfavorables, pudiendo ser provocado por agentes internos, controlados por las condiciones propias de la yema (endodormacia) o por agentes de estrés ambiental, normalmente por las bajas temperaturas (ecodormacia). Ambos procesos no son visibles morfológicamente y ocurren normalmente de forma simultánea cuando comienzan a ser los días más cortos y con temperaturas frías (Arora et al., 2003).

El inicio del periodo activo de la planta comienza con la ruptura de la dormancia de las yemas. Para ello, la planta necesita acumular un cierto número de horas de frío invernal. Una vez rota la dormancia e iniciado este crecimiento activo, comienza un nuevo periodo de acumulación de horas de calor, por encima de un umbral, que permita la apertura de la yema y comienzo de la antesis. El tiempo que se requiere para la acumulación de frío y calor en la planta es diferente entre especies, y entre poblaciones cuando éstas se encuentran en diferentes zonas climáticas. Por ejemplo, el requerimiento de frío es normalmente más bajo en el área mediterránea que en áreas de clima templado, y depende tanto de la latitud como de la altitud (Aguilera et al., 2013).

Las especies leñosas de floración tardía, como el olivo o el alcornoque, dependen también de las temperaturas, pero, sobre todo, están más sujetas al fotoperiodo y, en menor medida, a la disponibilidad de agua. Son las especies herbáceas las que más dependen de la lluvia, aunque dado que la mayoría de ellas florecen durante la primavera o primavera tardía, también tienen cierta dependencia del fotoperiodo y la temperatura (Basler and Körner 2012). Como ejemplo, García-Mozo et al., (2009) propuso para

las gramíneas el uso de modelos basados en procesos, bajo diferentes factores bioclimáticos, con una combinación del efecto generado por la temperatura, el fotoperiodo y la lluvia para predecir el inicio de su floración. Este modelo permitió incluir a un conjunto de parámetros dentro de un modelo único para la Península Ibérica, basado en diferentes factores bioclimáticos.

Por este motivo, los factores básicos que controlan el desarrollo estacional de las plantas son: la acumulación de unidades de frío, la acumulación de unidades de calor, el fotoperiodo y la disponibilidad de agua; teniendo en cuenta que, a la hora de generar modelos fenológicos, éstos deben basarse en solo uno o en una combinación de estos cuatro factores (Scheifinger et al., 2013). Una vez la planta está preparada para iniciar la floración son otros los factores ambientales locales que la determinan, como ejemplo, la irradiación, la temperatura y la humedad necesaria para la apertura de las anteras, entre otros.

En cuanto a las tendencias fenológicas durante periodos prolongados de tiempo, se corrobora el papel de estos factores dependiendo del tipo de planta y su periodo de floración. En Europa, durante el periodo 1971-2000, se ha observado un avance de la primavera-verano de 2,5 días/década, con una tendencia al alza en las temperaturas (Menzel et al., 2006). Las especies leñosas de floración temprana han respondido de forma más directa a estas tendencias hacia un adelanto de la floración (Cook et al., 2012). Sin embargo, en especies de floración tardía esta respuesta no es tan clara, especialmente en especies de floración otoñal, estando más sujetas a mayores oscilaciones anuales del clima, y dependiendo en mayor medida del fotoperiodo (Gordo and Sanz, 2005). Recientes estudios llaman especial atención a los cambios generados en el patrón de lluvias, como uno de los mayores motores del cambio climático en el área mediterránea y, por tanto, a la disponibilidad del agua (Peñuelas et al., 2004; Galán et al., 2016). De hecho, la mayoría de las plantas herbáceas quedan a la espera de contar con suficiente disponibilidad para que se inicie la floración. Los otoños e inviernos secos provocan un retraso de la floración, acortándose la estación polínica al estar sujeta al límite de las altas temperaturas del verano. En líneas generales, el invierno y la primavera temprana cálida y húmeda provoca un adelanto de la floración en especies primaverales, mientras que el invierno y la primavera temprana fría y seca provoca un retraso (García-Mozo et al., 2010). Sin embargo, los últimos estudios en la península ibérica durante las tres últimas décadas ponen de manifiesto una clara tendencia hacia un retraso de la floración en la mayoría de las especies estudiadas, especialmente en el área mediterránea, excepto en aquellas especies herbáceas bien adaptadas a zonas con falta de agua, como

es el caso de los amarantos y artemisia en el sureste peninsular (Galán et al., 2018).

Dado el papel que juega la NAO en el patrón de precipitaciones, se han observado correlaciones positivas entre la NAO y el inicio de la floración. En la Península Ibérica, un índice NAO invernal, con una disminución de las precipitaciones en la Península Ibérica, provoca un retraso en la floración; mientras que un índice NAO negativo invernal, con aumento de las precipitaciones provoca un adelanto (Galán et al., 2018).

6. POLEN, ALÉRGENOS Y ALERGIA POLÍNICA

Las partículas biológicas en el aire juegan un importante papel en la reproducción y propagación de organismos, sin embargo, en ocasiones, éstas pueden llegar a causar problemas de salud (Fröhlich-Nowoisky et al., 2016). De hecho, los granos de polen son considerados hoy en día como la principal causa de alergia entre la población. La prevalencia de alergia al polen afecta al 5-30% de la población en países industrializados (Asher et al., 2006) y la manifestación más frecuente es la rinoconjuntivitis 15-20% y el asma 7-10%. Actualmente se estima que la prevalencia de alergia al polen en Europa supera al 40% (D'Amato et al., 2007). Según Navarro et al. (2009), en España, la rinitis alérgica llega a afectar a un 55% y el asma a un 37% de pacientes alérgicos. Estudios realizados en Córdoba, ponen de manifiesto que la mayor causa de polinosis se debe al polen de gramíneas y olivo, alrededor de un 70% de los pacientes alérgicos son sensibles a alguno de estos granos de polen o a los dos (Sánchez-Mesa et al. 2005; Quiralte et al., 2007; Cebrino et al., 2017). Estos estudios presentan al polen de plátano de sombra como la tercera causa de polinosis, afectando al 20% de pacientes alérgicos, y al polen de *Parietaria*, perteneciente a la familia botánica de las urticáceas, como cuarta causa, afectando al 4-5%.

El grado de alergenicidad de los granos de polen depende de la mayor o menor presencia de alérgenos, variando estos de forma importante en diferentes grupos taxonómicos de plantas. Por ejemplo, en un estudio reciente llevado a cabo en la ciudad de Córdoba se puso de manifiesto que los principales granos de polen causantes de alergia primaveral en pacientes sensibles son: gramíneas (72%), olivo (71%), plátano de sombra (20%) y urticáceas (*Parietaria*) (4,5%) (Cebrino et al., 2017).

Sin embargo, para comprender el porqué de las alergias a los granos de polen, es necesario presentar su importante papel en el proceso de la reproducción sexual de las plantas con semilla, es decir, de las espermatofitas donde se encuentran las gimnospermas y angiospermas. La función del

grano de polen consiste en actuar como vehículo de transporte del gametofito masculino hasta los órganos reproductores femeninos a través del proceso de polinización. El gametofito representa a la generación haploide de estas plantas que se caracterizan por una alternancia de generaciones, donde la generación diploide, o esporofito, es la dominante. Para este objetivo el grano de polen presenta una pared resistente frente a distintas condiciones adversas a las que se puede encontrar expuesto, la exina. Como vectores polinizantes se encuentran el viento, los animales o el agua. La mayor parte de los granos de polen en el aire proceden de plantas polinizadas por el viento, es decir, plantas anemófilas. Una vez el grano de polen se encuentra con la estructura reproductora femenina adquiere la función de adherirse a ella y trata de reconocerla para proceder al proceso de germinación y liberación de los gametos masculinos al órgano receptor. En este proceso de reconocimiento se liberan distintas proteínas, además de otros componentes, que juegan un papel crítico tratando de reconocer las proteínas generadas por el órgano receptor, es decir, este intercambio de proteínas se puede considerar como un sistema de lenguaje para facilitar o rechazar el inicio al proceso de germinación del grano de polen y, posteriormente, al proceso de fecundación.

Precisamente estas proteínas son consideradas como aeroalérgenos polínicos responsables de las alergias al polen, dado que en algunas ocasiones el sistema inmune llega a reconocerlas como cuerpos «extraños» de carácter proteico, provocando un proceso de hipersensibilidad. La mayoría de los granos de polen presentan aperturas que les permiten adoptar diferente tamaño y formas dependiendo de la humedad ambiental, aunque en algunas ocasiones una situación de estrés térmico puede incluso provocar su ruptura. Estas aperturas ofrecen una buena protección contra la desecación, bajo ciertas condiciones meteorológicas, o su hidratación a la hora de adherirse al órgano receptor femenino, favoreciendo su función harmomégata. Este proceso de hidratación/desecación provoca la liberación de pequeñas partículas submicrónicas ($< 1 \mu\text{m}$) y paucimicrónicas ($< 0.5 \mu\text{m}$) portadoras de proteínas, estos son los aeroalérgenos.

Estudios comparativos entre el contenido de aeroalérgenos y granos de polen en el aire, ponen de manifiesto que no siempre están relacionados, ya que estas partículas cuentan con diferentes procesos de emisión y transporte. Por ejemplo, es importante destacar que, mientras que la emisión de los granos de polen desde la antera depende especialmente de la humedad ambiental, la liberación de alérgenos desde el grano de polen depende de una exposición a sustancias mucosas que permitan su hidratación, o de una exposición directa a la humedad, por ejemplo, la que se genera previa a una tormenta, o a otros elementos que supongan estrés, como la exposi-

ción a distintos contaminantes. En cuanto a su exposición a sustancias mucosas, pueden ocurrir que el grano de polen se deposite sobre la mucosidad del estigma, en angiospermas, o primordio seminal, en gimnospermas, para su reconocimiento y poder cumplir con su objetivo en el proceso de polinización y fecundación; pero también puede ocurrir que el grano de polen entre en contacto con otro tipo de mucosa, como ejemplo la nasal o conjuntival y, en este caso, los alérgenos liberados pueden incluso penetraren las vías respiratorias bajas generando problemas de asma. De hecho, los granos de polen son considerados como partículas aerovagantes de gran tamaño, de 10 a 100 μm , siendo responsables de alergia ocular, conjuntivitis, o en vías respiratorias altas, rinitis; los alérgenos de menor tamaño, al tratarse de partículas submicrónicas o paucimicrónicas, son capaces de penetrar hasta las vías respiratorias bajas, generando problemas de asma.

En cuanto al transporte de las partículas, también existen diferencias importantes. El transporte o dispersión de los granos de polen, como partículas grandes, depende de distintas variables ambientales, como la estabilidad atmosférica, la topografía, orografía, la temperatura, humedad ambiental, precipitaciones, entre otros. Los alérgenos suelen dispersar a través de diferentes vías, sobre granos de polen, con micropartículas contaminantes, como partículas diésel, en micropartículas biológicas liberadas desde las anteras durante el proceso de emisión del polen, por lo que su proceso de transporte o dispersión depende más de su vector. Estos alérgenos pueden ser, además, transportados a mayor distancia que el polen por su menor tamaño, y pueden permanecer más tiempo en el aire facilitando su transporte a larga distancia (Galán et al., 2013). De hecho, algunos estudios han presentado discrepancia entre las concentraciones de alérgenos polínicos y polen, al estar estos más afectados por este tipo de transporte (Plaza et al., 2016).

Otra cuestión importante a tener en cuenta es conocer la cantidad potencial de alérgenos por polen. Este dato no es fijo y varía siguiendo una estrategia de la planta para garantizar la polinización con el menor gasto energético. Estudios recientes han puesto de manifiesto que años con mejores condiciones del tiempo, y mayor floración, detectándose, por tanto, mayores concentraciones de polen, se llega a detectar una menor concentración de aeroalérgenos, y viceversa para años con situación de estrés, cuando el contenido de polen en el aire es inferior, pero mayor concentración de alérgenos. Estos resultados evidencian que las plantas sometidas a procesos de estrés o situaciones extremas podrían disminuir la intensidad de la floración y, por tanto, producir menos polen, pero el polen que producen cuenta con más alérgenos como estrategia para asegurar la poliniza-

ción (Plaza et al., 2017). Un resultado que evidencia la estrategia de las plantas frente a cualquier componente del cambio global.

7. FACTORES SOCIOAMBIENTALES QUE AFECTAN A LAS ALERGIAS RESPIRATORIAS

Recientes investigaciones ponen en evidencia el papel que juega del estilo de vida y los factores ambientales de países industrializados en los casos de atopía y asma, llegando a la conclusión de que los factores sociales y ambientales pueden llegar a jugar un mayor papel que los genéticos en el inicio de las alergias respiratorias.

Con esta preocupación surgió la «hipótesis de la higiene», cuando en 1989 David Strachan observó una cierta relación en el aumento de las enfermedades alérgicas cuando las personas han sido expuestas a una menor exposición a gérmenes en edad temprana debido, sobre todo, a estándares de limpieza más altos. El motivo es que, al no haber expuesto el sistema inmune frente a dichos gérmenes en su momento, el sistema no ha aprendido a defenderse a tiempo y puede llegar a estimularse por otras sustancias inofensivas como puede ser el polen.

Distintos estudios sobre migración ponen en evidencia este tema, llegando a la conclusión de que la prevalencia de estas enfermedades, según los datos epidemiológicos, depende de la edad en la que se realizan los movimientos migratorios. Se ha llegado incluso a observar que el nacimiento después de la migración confiere un mayor riesgo de atopía que si la migración ocurre después del nacimiento, incrementándose con la duración de la residencia en los países de destino (Tham et al., 2019).

Algunos estudios han demostrado disparidades en los índices de salud y enfermedad entre las poblaciones migrantes y nativas que viven en la misma ubicación geográfica (Acevedo-García et al., 2010; Kennedy et al., 2015). Por ejemplo, Tham et al. (2019) llegan a la conclusión de que los inmigrantes de primera generación tienen una menor prevalencia de alergia que la población nativa; los de segunda generación tienen una mayor prevalencia que los de primera generación; y los de segunda generación con dos padres nacidos en el extranjero tienen una prevalencia de alergia más baja que aquellos con solo un padre nacido en el extranjero.

Por todo ello, con estos estudios se ha tratado de presentar evidencias científicas que presentan el importante papel de los factores socioambientales en el desencadenamiento o agravamiento de enfermedades, dentro de lo que hoy se considera como salud ambiental. En consecuencia, es necesario tomar medidas de mitigación y de adaptación que impida su exten-

sión, o la aparición de nuevas patologías, que puedan afectar al ser humano, a las plantas, animales, y a todos los seres vivos que conviven en el ecosistema Tierra.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo-Garcia, D., Bates, L.M., Osypuk, T.L., McArdle, N.: «The effect of immigrant generation and duration on self-rated health among US adults 2003-2007». *Social Science & Medicine*, 2010, 71, 1161-72.
- Alcázar, P., Galán, C., Torres, C., Domínguez-Vilches, E.: «Detection of airborne allergen (Platanus a 1) in relation to Platanus pollen in Córdoba, South Spain». *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 2015, 22, 96-101.
- Alcázar, P., Stach, A., Nowak, M., Galán, C.: «Comparison of airborne herb pollen types in Córdoba (Southwestern Spain) and Poznan (Western Poland)». *Aerobiologia*, 2009, 25, 55-63.
- Aguilera, F., Ruiz, L., Fornaciari, M., Romano, B., Galán, C., Oteros, J., Ben Dhiab, A., Msallem, M., Orlandi, F.: «Heat accumulation period in the Mediterranean region: phenological response of the olive in different climate areas (Spain, Italy and Tunisia)». *International Journal on Biometeorology*, 2013, 58, 867-876.
- Arora, V.K.: «Simulating energy and carbon fluxes over winter wheat using coupled land surface and terrestrial ecosystem models». *Agricultural and Forest Meteorology*, 2003, 118, 21-47.
- Asher, M.I., Montefort, S., Björkstén, B., Lai, C.K., Strachan, D.P., Weiland, S.K., Williams, H.: ISAAC Phase Three Study Group: «Worldwide time trends in the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and eczema in childhood: ISAAC Phases One and Three repeat multicountry cross-sectional surveys». *Lancet*, 26, 2006, 368:733-43.
- Basler, D. & Körner, C.: «Photoperiod sensitivity of bud burst in 14 temperate forest tree species». *Agricultural and Forest Meteorology*, 2012, 165, 73-81.
- Cariñanos, P. & Casares-Porcel, M.: «Urban green zones and related pollen allergy: A review. Some guidelines for designing spaces with low allergy impact». *Landscape and Urban Planning*, 2011, 101, 205-214.
- Cebrino, J., Portero de la Cruz, S., Barasona, M.J., Alcázar, P., Moreno, C., Domínguez-Vilches, E., Galán, C.: «Airborne pollen in Córdoba City (Spain) and its implications for pollen Allergy». *Aerobiologia*, 2017, 33, 281-291.
- Chuine, I. & Belmonte, J.: «Improving prophylaxis for pollen allergies: Predicting the time course of the pollen load of the atmosphere of major allergenic plants in France and Spain». *Grana*, 2004, 43: 65-80.
- Charpin, D., Calleja, C., Lahoz, C., Waisel, Y.: «Allergy to cypress pollen». *Allergy*, 2005, 60, 293-301.

- Chen, K.W., Marusciac, L., Tamas, P.T., Valenta, R., Panaitescu, C.: «Ragweed Pollen Allergy: Burden, Characteristics, and Management of an Imported Allergen Source in Europe». *International Archives of Allergy and Immunology*, 2018, 1-18.
- Cook, B.I., Wolkovich, E.M., Parmesan, C.: «Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends». *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012, 23, 9000-9005.
- Cramer, W., Yohe, G.W., Auffhammer, M., Huggel, C., Molau, U., da Silva Dias, M.A.F., Solow, A., Stone, D.A., Tibig, L., 2014: "Detection and attribution of observed impacts". In: "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability". Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., White, L.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014.
- Dahl, A., Galán, C., Hajkova, L., Pauling, A., Sikoparija, B., Smith, M., Vokou, D.: *The onset, course and intensity of the pollen season*. Editors Sofiev, M. & Bergmann, K. In: «Allergenic Pollen: a review of the Production, Release, Distribution and Health Impact». Springer. Netherland, 2013.
- D'Amato, G., Cecchi, L., Bonini, S., Nunes, C., Annesi-Maesano, I., Behrendt, H., Liccardi, G., Popov, T., van Cauwenberge, P.: «Allergenic pollen and pollen allergy in Europe». *Allergy*, 2007, 62, 976-90.
- De Linares, C., Alcázar, P., Valle, A.M., Díaz de la Guardia, C., Galán, C.: «*Parietaria* major allergens vs pollen in the air we breathe». *Environmental Research*, 2019, 176, 1-7.
- Fernández-González, F.L., Moreno, J.C., Arco del, M., Fernández-Cancio, A., Galán, C., García-Mozo, H., Muñoz, J., Pérez-Badía, R., Sardinero, S., Tellería, M.: *Impacts on vegetal Biodiversity*. In: «Evaluation of Climate Change Impacts in Spain». ECCE. Moreno, J.M. ed. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España, 2005.
- Fernández-Llamazares, A., Belmonte, J., Alarcón, M., López-Pacheco, M.: «*Ambrosia* L. in Catalonia (NE Spain): Expansion and aerobiology of a new bioinvader». *Aerobiologia*, 2012, 28, 435-451.
- Fröhlich-Nowoisky, J., Kampf, C.J., Weber, B., Huffman, J.A., Pöhlker, C., Andreae, M.O., Lang-Yona, N., Burrows, S.M., Gunthe, S.S., Elbert, W., Su, H., Hoor, P., Thines, E., Hoffmann, T., Després, V.R., Pöschl, U.: «Bioaerosols in the Earth System: Climate, Health, and Ecosystem Interactions». *Atmospheric Research*, 2016, 182, 346-376.
- Galán, C; Alcázar, P., Oteros, J., García Mozo, H., Aira, M.J., Belmonte, J., Díaz de la Guardia, C., Fernández, D., Gutiérrez Bustillo, M., Moreno, S., Pérez Badía, R., Rodríguez Rajo, J., Ruiz Valenzuela, L., Tormo, R.,

- Trigo, M.M., Domínguez Vilches, E.: «Airborne pollen trends in the Iberian Peninsula». *Science of the Total Environment*, 2016, 550:53-59.
- Galán, C, Alcázar, P., Oteros, J., García Mozo, H., Aira, M.J., Belmonte, J., Díaz de la Guardia, C., Fernández, D., Gutiérrez Bustillo, M., Moreno, S., Pérez Badía, R., Rodríguez Rajo, J., Ruiz Valenzuela, L., Tormo, R., Trigo, M.M., Domínguez Vilches, E.: «Trends on airborne pollen timing in the Iberian Peninsula». *XI International Congress on Aerobiology*, Parma, Italy, 2018.
- Galán, C., Antunes, C., Brandao, R., Torres, C., Garcia-Mozo, H., Caeiro, E., Ferro, R., Prank, M., Sofiev, M., Albertini, R., Berger, U., Cecchi, L., Celenk, S., Grewling, Ł., Jackowiak, B., Jager, S., Kennedy, R., Rantio-Lehtimäki, A., Reese, G., Sauliene, I., Smith, M., Thibaudon, M., Weber, B., Weichenmeier, Pusch, G., Buters J.T.M., on behalf of the HIALINE working group: «Airborne olive pollen counts are not representative of exposure to the major olive allergen Ole e 1». *Allergy*, 2013, 68, 809-812.
- Galán, C., Smith, M., Thibaudon, M., Frenguelli, G., Oteros, J., Gehrig, R., Berger, U., Clot, B., Brandao, R., EAS QC Working Group: «Pollen monitoring: minimum requirements and reproducibility of analysis». *Aerobiologia*, 2014, 30, 385-395.
- García-Mozo, H.: «Poaceae pollen as the leading aeroallergen worldwide: A review». *Allergy*, 2017, 72, 1849-1858.
- García-Mozo, H., Galán, C., Belmonte, J., Bermejo, D., Candau, P., Díaz de la Guardia, C., Elvira, B., Gutierrez, M., Jato, V., Silva, I., Trigo, M.M., Valencia, R., Chuine. I.: «Predicting the start and peak dates of the Poaceae pollen season in Spain using process-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*», 2009, 149, 256-262.
- García-Mozo, H., Galán, C., Alcázar, P., Díaz de la Guardia, C., Nieto-Lugilde, D., Recio, M., Hidalgo, P., González-Minero, F., Ruiz, L., Domínguez-Vilches, E.: «Trends in grass pollen season in southern Spain». *Aerobiologia*, 2010, 26, 157-169.
- Gordo, O. & Sanz, J.J.: «Phenology and climate change: a long-term study in a Mediterranean locality». *Oecology*, 2005, 146, 484-495.
- Hedhly, A., Hormaza, J.I., Herrero, M.: «Global warming and sexual plant reproduction». *Trends in Plant Science*, 2009, 14, 30-36.
- Hurrell, J.W., Kushnir, Y., Ottersen, G., Visbeck, M.: *The North Atlantic Oscillation: Climatic Significance and Environmental Impact*. Geophysical Monograph 134, American Geophysical Union, 2003.
- IPCC. *Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Equipo principal de redacción, Pachauri, R.K. y Meyer, L.A. (eds.). IPCC, Ginebra, Suiza. 2014.
- Leung, R.: «Asthma, allergy and atopy in Southeast Asian immigrants in Australia». *Australian and New Zealand Journal of Medicine*, 1994, 24, 255-7.

- Menzel, A., Sparks, T.H., Estrella, N. et al.: «European phenological response to climate change matches the warming pattern». *Global Change Biology* 2006, 12, 1969-1976.
- Navarro, A., Colás, C., Antón, E., Conde, J., Dávila, I., Dordal, M.T., Fernández-Parre, B., Ibáñez, M.D., Lluch-Bernal, M., Matheu, V., Montoro, J., Rondón, C., Sánchez, M.C., Valero, A.: «Rhinoconjunctivitis Committee of the SEAIC. Epidemiology of allergic rhinitis in allergy consultations in Spain: Alergológica-2005». *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 2009, 19, 7-13.
- Kennedy, S., Kidd, M.P., McDonald, J.T., Biddle, N.: «The healthy immigrant effect: patterns and evidence from four countries». *Journal of International Migration and Integration*, 2015, 16, 317-32.
- Peñuelas, J., Filella, I., Zhang, X., Llorens, L., Ogaya, R., Lloret, F., Comas, P., Estiarte, M., Terradas, J.: «Complex spatiotemporal phenological shifts as a response to rainfall changes». *New Phytologist*, 2004, 161, 837-846.
- Pérez, F.F. & Boscolo, R.: *Clima en España: Pasado, presente y futuro*. Informe de Evaluación del Cambio Climático Regional. CLIVAR España, 2010.
- Plaza, M.P., Alcázar, P., Hernández-Ceballos, M.A., Galán, C.: «Mismatch in aeroallergens and airborne grass pollen concentrations». *Atmospheric Environment*, 2016, 144, 361-369
- Plaza, M.P., Alcázar, P., Velasco-Jiménez, M.J., Galán, C.: «Aeroallergens: a comparative study of two monitoring methods», 2017, 33, 363-373.
- Recio, M., Rodríguez-Rajo, F.J., Jato, V., Trigo, M.M., Cabezudo, B.: «The effect of recent climatic trends on Urticaceae pollination in two bioclimatically different areas in the Iberian Peninsula: Malaga and Vigo». *Climatic Change*, 2009, 97, 215-228.
- Rogers, C.A., Wayne, P.M., Macklin, E.A., Muilenberg, M.L., Wagner, C.J., Epstein, P.R., Bazzaz, F.A.: «Interaction of the onset of spring and elevated atmospheric CO₂ on ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) pollen production». *Environmental Health Perspectives*, 2006, 14, 865-869.
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B., Tryjanowski, P.: *Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems*. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.), *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge UP, Cambridge, UK. 2007.
- Sánchez Mesa, J.A., Brandao, R., Lopes, L., Galán, C.: «Correlation between pollen counts and symptoms in two different areas of the Iberian Peninsula: Cordoba (Spain) and Evora (Portugal)». *Journal of Investigational Allergology and Clinical Immunology*, 2005, 15, 112-116.

- Scheifinger, H., Belmonte, J., Celenk, S., Damialis, A., Dechamp, C., Garcia-Mozo, H., Gehrig, R., Grewling, L., Halley, J.M., Hogda, K.A., Jäger, S., Karatzas, K., Karlsen, S.R., Koch, E., Pauling, A., Peel, R., Sikoparija, B., Smith, M., Galán-Soldevilla, C., Thibaudon, M., Vokou, D., de Weger, L.: *Monitoring, modelling and forecasting of the pollen season*. Editors M. Sofiev and K. Bergmann: «In Allergenic Pollen: a review of the Production, Release, Distribution and Health Impact». Springer. Netherland, 2013.
- Schwartz, M.D.: *Phenology: An Integrative Environmental Science*. Springer, Netherland, 2013.
- Smith, M., Emberli, J., Stach, A., Rantio-Lehtimäki, A., Caulton, E., Thibaudon, M., Sindt, C., Jäger, S., Gehrig, R., Frenguelli, G., Jato, V., Rodríguez Rajo, F.J., Alcázar, P., Galán, C.: «Influence of the North Atlantic Oscillation on grass pollen counts in Europe». *Aerobiologia*, 2009, 25, 321-332.
- Velasco-Jiménez, M.J., Alcázar, P., Valle, A., Trigo, M.M., Minero, F., Domínguez-Vilches, E., Galán, C.: «Aerobiological and ecological study of the potentially allergenic ornamental plants in south Spain». *Aerobiologia*, 2014, 30, 91-101.
- Tham, E.H., Ling Loo, E.X., Zhu, Y., Pei-Chi Shek, L.: «Effects of Migration on Allergic Diseases». *International Archives of Allergy and Immunology*, 2019, 178, 128-140.
- Vicente-Serrano, S.M. & López-Moreno, J.I.: «Nonstationary influence of the North Atlantic Oscillation on European precipitation». *Journal Geophysical Research*, 2008, 113, 1-14.
- Ziello, C., Sparks, T.H., Estrella, N., Belmonte, J., Bergmann, K.C., Bucher, E., Brighetti, M.A., Damialis, A., Detandt, M., Galán, C., Gehrig, R., Grewling, L., Gutiérrez-Bustillo, A.M., Hallsdottir, M., Kockhans-Bieda, M.C., Linares de, C., Myszkowska, D., Páldy, A., Sánchez, A., Smith, M., Thibaudon, M., Travaglini, A., Uruska, A., Valencia-Barrera, R.M., Vokou, D., Wachter, R., Weger de, L.A. & Menzel, A.: «Changes to Airborne Pollen Counts across Europe». *Plos One*, 2012, 7, 1-8.