

Aplicación de modelos fuente-receptor para determinar áreas fuente de componentes biológicos (polen y mariposas)

M. Alarcón¹, A. Àvila², J. Belmonte³, C. Stefanescu⁴ y R. Izquierdo^{2,3}

¹Departamento de Física e Ingeniería Nuclear, Universitat Politècnica de Catalunya, C/ Urgell 187, 08036 Barcelona

²CREAF, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

³Unidad de Botánica e ICTA, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

⁴Butterfly Monitoring Scheme, Museu de Granollers de Ciències Naturals, Francesc Macià, 51, E-08402 Granollers

Recibido: 12-III-2009 – Aceptado: 4-VIII-2009 – **Versión Traducida**

Correspondencia a: marta.alarcon@upc.edu

Resumen

*Los modelos fuente-receptor permiten establecer relaciones entre un punto receptor (punto de muestreo) y las áreas fuente probables (regiones emisoras) mediante la asociación de valores de concentración en el punto receptor con las correspondientes retrotrayectorias atmosféricas, y, junto a otras técnicas, permiten interpretar fenómenos de transporte a escala sinóptica. Estos modelos se han utilizado generalmente en estudios de contaminación atmosférica para determinar las zonas de origen de compuestos químicos medidos en un punto de muestreo, y así poder orientar las actuaciones de reducción de contaminantes. No obstante, hasta la actualidad, pocos trabajos han aplicado este tipo de modelos para describir las áreas fuente de organismos biológicos. En Cataluña se dispone de registros muy completos de polen (datos de la Xarxa Aerobiològica de Catalunya) y de mariposas (datos del Catalan Butterfly Monitoring Scheme), un material biológico también susceptible de ser transportado a largas distancias y cuyas áreas de origen puede ser interesante conocer. En este trabajo presentamos los resultados del uso del modelo de Seibert et al. aplicado al estudio de las regiones fuente de: (1) determinados pólenes de carácter alérgico, observados en Cataluña y Canarias, y (2) la mariposa migratoria *Vanessa cardui*, observada en Cataluña. Con los resultados obtenidos podemos corroborar la idoneidad de estos modelos para explicar la procedencia de distintas especies, tanto químicas como biológicas, ampliando así las posibilidades de aplicación del modelo original al campo mucho más extenso de la aerobiología.*

Palabras clave: estadística de trayectorias, transporte a gran distancia, polen, mariposas, aerobiología

1 Introducción

El tiempo de residencia de las sustancias que, por procesos naturales o por causas antrópicas, se introducen en la atmósfera puede ser muy variable, pero generalmente lo bastante largo (más de un día) como para que puedan ser transportadas lejos de las fuentes de emisión y depositarse a miles de km sobre suelos y océanos. A pesar de la complejidad de las interacciones entre las distintas escalas, simplificando, podemos distinguir entre transporte a pequeña escala (en el que una parte importante de la sustancia se depositará cerca de las fuentes, por ejemplo a menos de una distancia horizontal de 100 km) y transporte a gran escala. El primero tiene lugar en la capa fronteriza bajo la influencia predominante de

las circulaciones de escala local, como las brisas y los efectos orográficos. El transporte a grandes distancias tiene lugar en la troposfera libre y es gobernado por los patrones de circulación a escala global y por los sistemas a escala sinóptica.

Entre las herramientas más habituales que se utilizan para el estudio del transporte encontramos el análisis de mapas sinópticos, la teledetección, el tratamiento de variables meteorológicas como la presión y el geopotencial, el uso de modelos eulerianos como SKIRON y NAAPS, los modelos lagrangianos como los que se basan en el cálculo de trayectorias (Hysplit, Flextra, etc.) y modelos estadísticos como los de tipo fuente-receptor que aplicamos en el presente trabajo. Estos modelos, que se basan en el análisis estadístico de trayectorias atmosféricas, no tienen en cuenta explícitamente

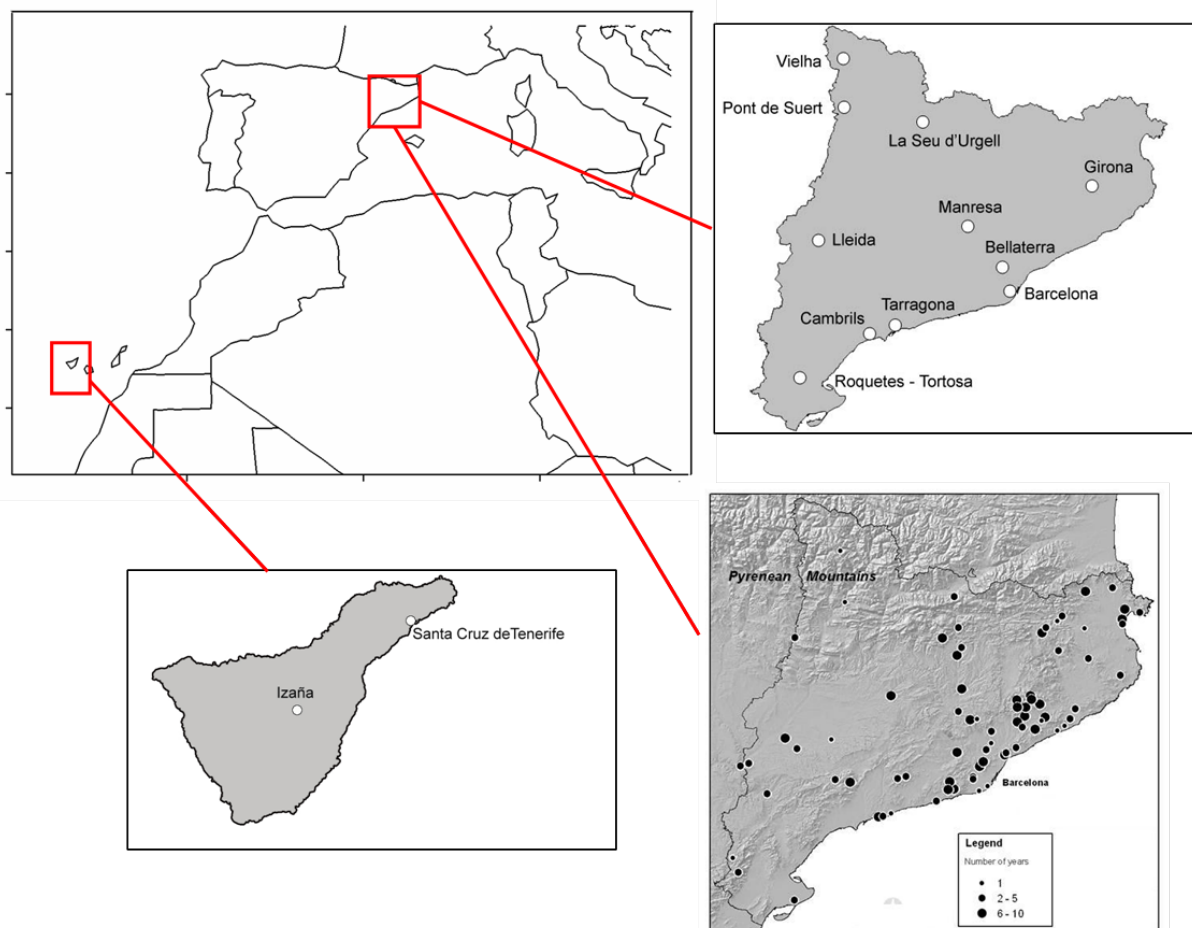


Figura 1. Estaciones de muestreo: derecha superior, la de polen en Cataluña; derecha inferior, las de la mariposa *Vanessa cardui* en Cataluña; izquierda inferior, las de polen en Tenerife.

la difusión atmosférica, las transformaciones químicas ni los procesos de eliminación por deposición seca y/o húmeda.

Normalmente, los modelos fuente-receptor se han usado en el estudio del transporte de compuestos químicos en la atmósfera, como por ejemplo, el transporte del polvo mineral (Bonasoni et al., 2004), el ozono (Seibert et al., 1994), componentes acidificantes (Stohl, 1996) y otros contaminantes (Charron et al., 1998). Pero la atmósfera contiene también material biológico, como microorganismos, esporas fúngicas, diásporas de plantas (polen y semillas de pequeño tamaño) y animales pequeños, como insectos y arácnidos que tienen parte de su ciclo vital en la atmósfera (Johnson, 1969). Este material puede ser inyectado a grandes alturas (>1000 m) y ser transportado a grandes distancias (Chapman et al., 2002; Kellogg y Griffin, 2006) por los mismos mecanismos que desplazan gases y partículas químicas. Por lo tanto, el comportamiento atmosférico del material biológico es susceptible de ser tratado con los mismos métodos que los utilizados con los compuestos químicos. Recientemente, algunos autores han usado retrotrayectorias y modelos de

transporte para explicar el movimiento del polen a gran escala (Belmonte et al., 2000, 2008; Sofiev et al., 2006; Skjoth et al., 2007; Siljamo et al., 2008). Asimismo, también se han utilizado retro-trayectorias para explicar los desplazamientos a larga distancia de mariposas (French, 1969; Stefanescu et al., 2007; Dantart et al., 2009; Schaffers, 2009). No obstante, hasta la actualidad muy pocos trabajos han aplicado modelos de tipo fuente-receptor para describir las áreas fuente de organismos biológicos. En este trabajo presentamos los resultados del uso del modelo fuente-receptor de Seibert et al. (1994) aplicado al estudio de las áreas fuente de polen y mariposas que llegan al noreste de la Península Ibérica y a las Islas Canarias transportados por el viento, ampliando así las posibilidades de aplicación del modelo original al campo mucho más extenso de la aerobiología.

Concretamente, en este trabajo presentamos los resultados de la aplicación del modelo para estimar las áreas fuente de: (1) el polen de haya (*Fagus sylvatica* L.) observado en Cataluña, (2) el polen de Chenopodiaceae/Amaranthaceae y Cyperaceae observado en Tenerife, Islas Canarias, y (3) la mariposa *Vanessa cardui* observada en Cataluña.

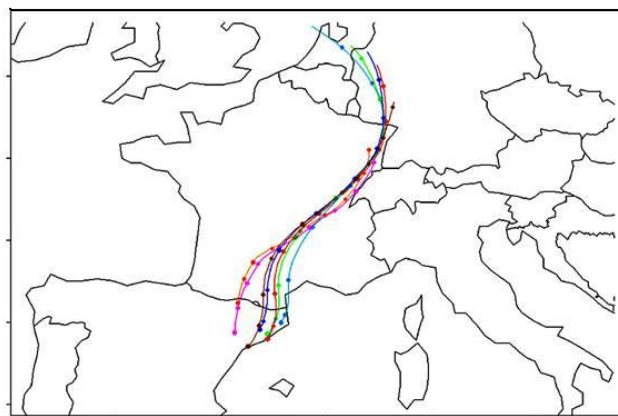
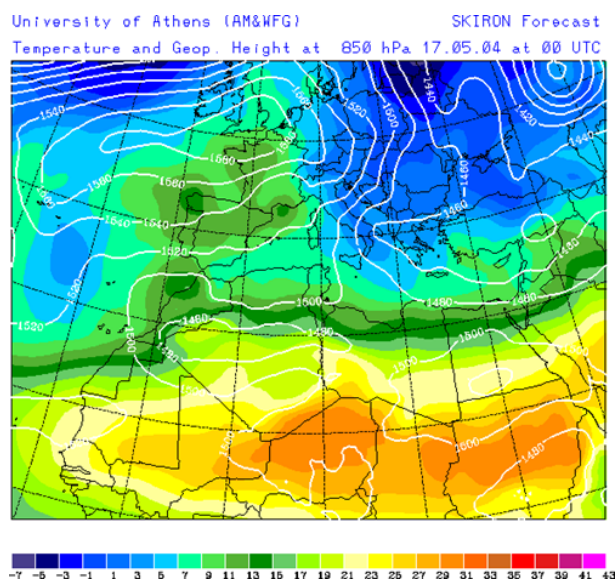
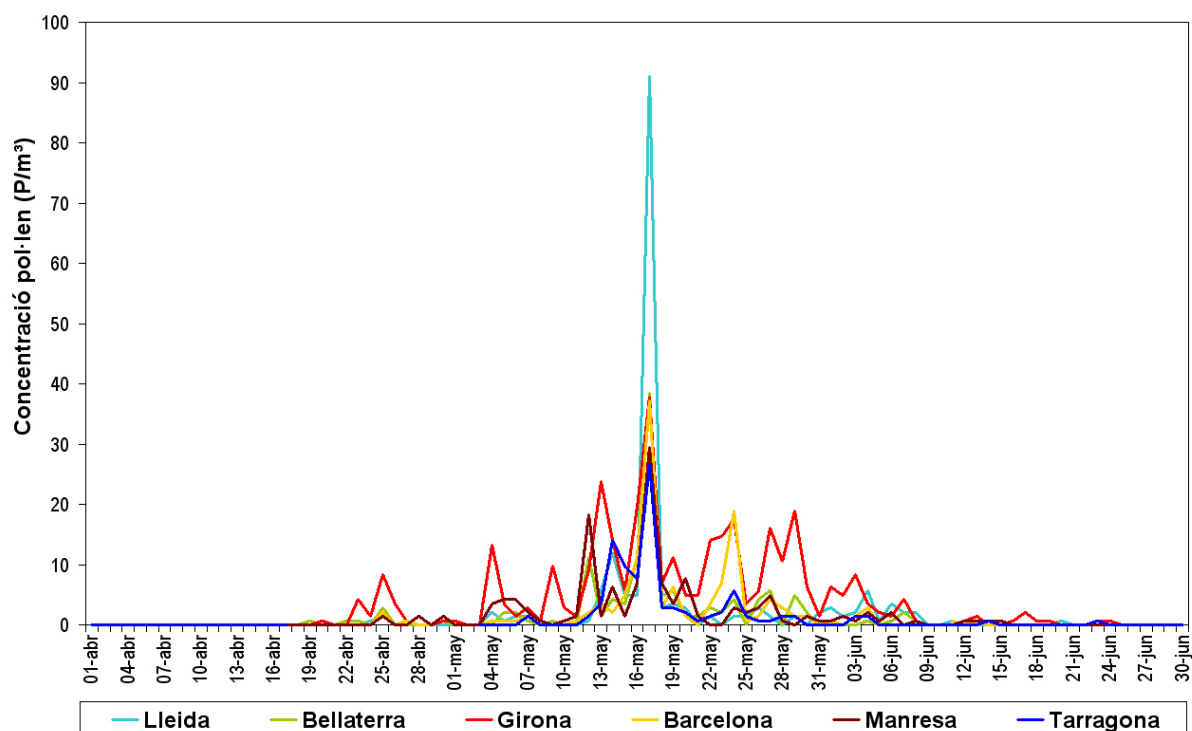


Figura 2. (a) (arriba) Dinámica polínica de la haya en el período 1 de abril a 30 de junio de 2004 (media diaria en granos de polen m^{-3}) en las distintas estaciones; destaca el pico del 17 de mayo; (b) (abajo a la izquierda) altura geopotencial a 850 hPa a las 00 UTC el 17 de mayo de 2004; (c) (abajo a la derecha) retrotrayectorias isentrópicas de 96 horas calculadas con Hysplit para el 17 de mayo de 2004 a las 12 UTC con origen en las estaciones aerobiológicas de Cataluña, a 1000 y 3000 m sobre el nivel del mar.

Aparte del elevado interés científico de la modelización de las áreas fuente para comprender los ciclos vitales de las especies, el uso de estos modelos puede resultar de gran utilidad a biólogos, médicos alergólogos y gestores de la calidad ambiental en el estudio y tratamiento de problemas como las plagas o las alergias respiratorias.

2 Metodología

2.1 Organismos estudiados

La haya es un árbol ampliamente distribuido en el centro de Europa pero mucho más local en Cataluña y la Península Ibérica, donde requiere precipitaciones por encima de 1000 mm año^{-1} (Terradas, 1984) y se encuentra en valles y laderas frescas y húmedas (Rocha Afonso, 1990), normalmente entre 500 (excepcionalmente 300) y 2000 m de altitud sobre el nivel del mar (Bolòs y Vigo, 2005). A pesar de esto, se ha observado la presencia simultánea de polen de haya (aunque a menudo de forma esporádica) en varias de las estaciones aerobiológicas estudiadas en Cataluña. En este trabajo pretendemos situar las regiones de procedencia del polen de este árbol, típicamente centroeuropeo, en las estaciones de Cataluña.

Las familias de Chenopodiaceae, Amaranthaceae y Cyperaceae son cosmopolitas (Mabberley, 1987) y, por lo tanto, están presentes en multitud de ambientes de cualquier parte del mundo, incluidas las áreas secas y desérticas. Dentro de cada una de estas familias hay numerosos géneros y especies más o menos fácilmente diferenciables entre ellos. En cambio, el polen de las distintas especies es indistinguible y sólo puede ser identificado hasta el nivel de familia en el caso de las ciperáceas o como perteneciente al grupo quenopodiáceas/amarantáceas en el caso de las otras dos familias. En un estudio previo (Izquierdo, 2008), el análisis del espectro polínico de las estaciones de Tenerife reflejó la importancia tanto de las aportaciones local/regional como del transporte a escala extraregional. La relación entre la procedencia de las masas de aire y las concentraciones medias diarias de cada taxón se estudió con un análisis estadístico de la varianza, considerando la zona de procedencia como factor. Los resultados relacionaron ocho taxones con el transporte a escala extraregional, entre los cuales los grupos Chenopodiaceae/Amaranthaceae y Cyperaceae mostraron un claro origen africano.

Vanessa cardui es una mariposa migratoria de la familia de ninfálidos que cada año, durante los meses de primavera, recoloniza Cataluña procedente del Norte de África. Las observaciones de *V. cardui* volando a ras del suelo en una dirección definida habían hecho creer hasta hace poco que su migración dependía exclusivamente de la propia actividad voladora de la mariposa, pero el trabajo de Stefanescu et al. (2007) demostró la conexión existente entre las llegadas de las mariposas y la presencia de un flujo de masas de aire procedentes de África, lo que hizo pensar que su desplaza-

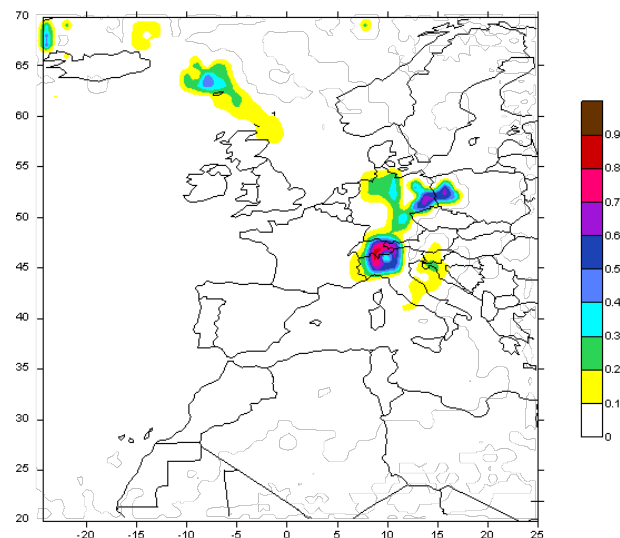


Figura 3. Áreas fuente del polen de haya calculadas en base a los datos 1 de abril - 30 de junio del período de 10 años de muestreo 1997-2006. Concentración en granos de polen m^{-3} (p m^{-3}).

miento se beneficia de patrones de circulación atmosférica a escala sinóptica.

2.2 Modelo fuente-receptor

El modelo fuente-receptor consiste en una aproximación estadística que combina datos de concentración en un lugar de muestreo con las coordenadas de los puntos por donde han pasado las trayectorias atmosféricas que llegan al lugar de muestreo. De este modo, permite establecer asociaciones entre el punto receptor y las posibles áreas fuente.

En consecuencia, hay que calcular previamente las retrotrayectorias diarias a una altura determinada durante el período correspondiente al tiempo de muestreo. Las retrotrayectorias se asocian así a un valor de concentración del elemento de interés en la localidad receptora. Al dominio de integración de las trayectorias, que es el que corresponde a la región mostrada en las Figuras 3, 4 y 5, va superpuesta una cuadrícula sobre la que se define un conjunto de celdas con la resolución espacial que convenga, $1^\circ \times 1^\circ$ en nuestro caso. Existen distintas metodologías para determinar las zonas fuente probables. En nuestro estudio se ha utilizado el método de Seibert (Seibert et al., 1994), que calcula una concentración media logarítmica para cada celda en función del tiempo de residencia de las trayectorias en las distintas celdas:

$$\log C_{ij} = \frac{\sum_l n_{ijl} \log C_l}{\sum_l n_{ijl}} \quad (1)$$

donde C_{ij} es la concentración en la celda (i, j) , l es el índice de la trayectoria, C_l es la concentración en la localidad receptora correspondiente a la trayectoria l y n_{ijl} es el número de pasos de tiempo de la trayectoria l en la celda (i, j) .

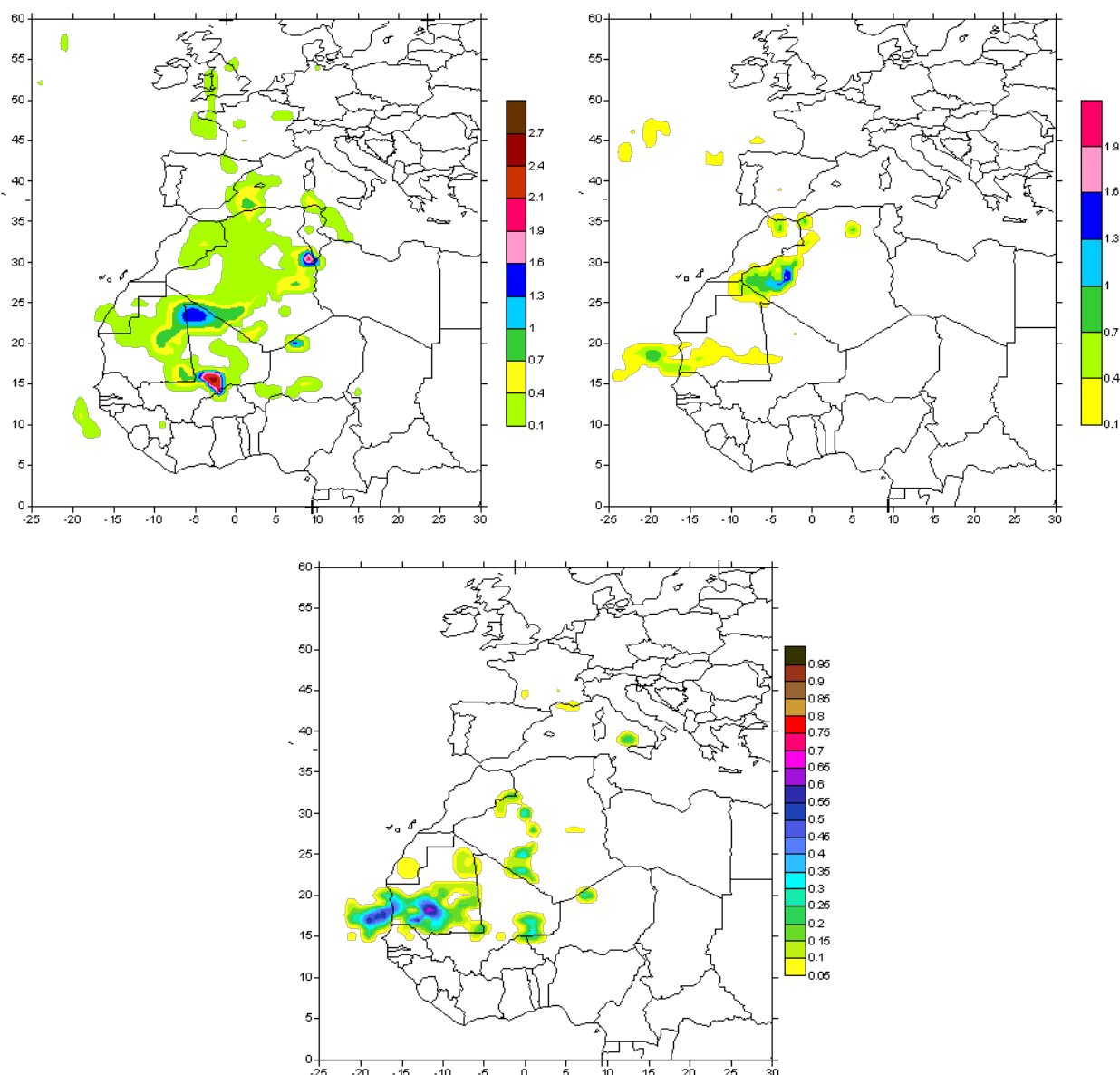


Figura 4. Áreas fuente del polen de Chenopodiaceae/Amaranthaceae para (a) (arriba a la izquierda) SCO, calculadas en base a los datos del período de muestreo 1 de enero de 2006 - 31 de diciembre de 2007, y (b) (arriba a la derecha) IZO calculadas en base a los datos del período de muestreo 11 de junio - 11 de noviembre de 2006 y 23 de abril - 4 de noviembre de 2007; y (c) (abajo) Cyperaceae SCO, calculadas en base a los datos del período de muestreo 1 de octubre - 31 de diciembre de los años 2005, 2006 y 2007. Concentración (μm^{-3}).

En este estudio se han calculado trayectorias isentrópicas, de paso temporal de 60 minutos, con el modelo HYSPLIT-4 (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*; Draxler y Hess, 1997) del NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*; <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) a 1500 metros sobre el nivel del mar (m s.n.m.) a partir de los datos meteorológicos del U.S. *National Climate Data Center* (período 1997-2007) y *NCEP/NCAR Reanalysis* (período 1983-1996). La altura de 1500 m, que corresponde aproximadamente al nivel estándar de presión de 850 hPa, se ha escogido por el hecho de que es la más

representativa del transporte en la baja troposfera, ya que se encuentra en la frontera entre el régimen de vientos de superficie y los de la troposfera libre. Para minimizar la incertidumbre de las trayectorias se ha aplicado un método de suavizado de manera que el valor de cada celda ha sido reemplazado por el valor medio entre la celda y las ocho celdas de su entorno. Finalmente, se ha aplicado un filtro para excluir las celdas con menos de 5 segmentos de trayectoria (pasos temporales). El mapa de concentración obtenido así refleja la contribución de cada celda en la concentración en el punto receptor. En los tres casos en los que hemos aplicado el modelo, los períodos muestreados

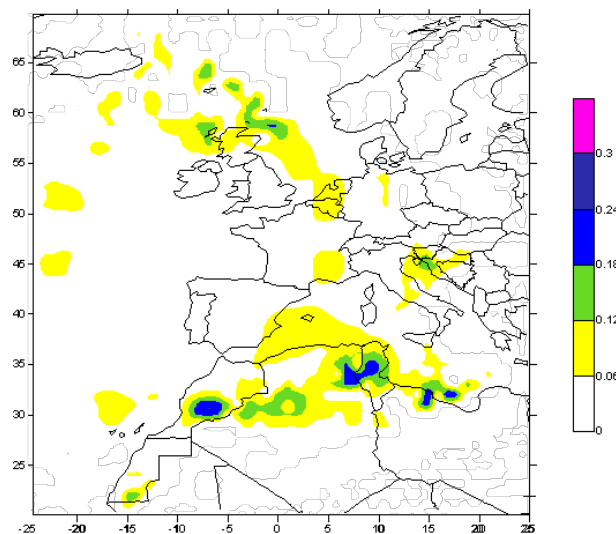


Figura 5. Áreas fuente de *Vanessa cardui*, calculadas en base a los datos 1 de marzo - 27 de junio del período de 10 años de muestreo 1997-2006. Abundancia (individuos en 100 m de transecto de recuento).

han sido suficientemente largos para ser estadísticamente representativos.

2.3 Medida de los niveles de polen en la atmósfera

El muestreo aerobiológico en Cataluña y en Tenerife se realizó mediante el método de muestreo estándar acordado en las redes aerobiológicas europeas (método Hirst; Hirst, 1952), y siguiendo las metodologías de análisis que rigen en las redes españolas (Galán et al., 2007) que proporcionan concentraciones medias diarias en granos de polen por metro cúbico (p m^{-3}). La presencia de polen de haya en Cataluña se estudió revisando el conjunto de datos disponibles que comprende el período 1983-2007 y las estaciones de Barcelona, Bellaterra, Cambrils, Girona, Lleida, Manresa, Pont de Suert, Roquetes, Seu d'Urgell, Tarragona y Vielha (Figura 1). Estos datos mostraban que, a pesar de la escasa distribución de la planta en el área de estudio, el polen se presentaba en algunos momentos puntuales, de forma simultánea, en el conjunto del territorio. Para un período de diez años (1997-2006), se calcularon las retrotrayectorias durante el período de floración de la haya (1 de abril-30 de junio), 720 trayectorias y 69.120 pasos temporales, a 1500 m de altura en un punto geográfico representativo de la región (41.8°N , 1.5°W), y se utilizó el valor medio de las concentraciones en las estaciones.

La llegada de polen de *Chenopodiaceae/Amaranthaceae* y *Cyperaceae* en Tenerife se estudió a partir de las concentraciones medias diarias registradas en las estaciones de Santa Cruz de Tenerife (SCO, a 52 m s.n.m.) e Izaña (IZO, a 2367 m s.n.m.) (Figura 1). El período de muestreo en SCO fue continuo durante los años 2006-2007, pero en IZO estuvo limitado al período del 11 de junio al 11 de noviembre

de 2006 y del 23 de abril al 4 de noviembre de 2007 debido a las condiciones meteorológicas adversas del resto del año. Para cada día de muestreo se calculó la retrotrayectoria a 1500 m para SCO (730 trayectorias y 70.080 pasos temporales) y 2500 m para IZO (349 trayectorias y 33.504 pasos temporales). En el caso de *Cyperaceae* la aplicación del método fuente-receptor sólo fue posible en SCO y mediante la utilización de un período específico (1 de octubre - 31 de diciembre 2005-2007, 276 trayectorias y 26.496 pasos temporales).

2.4 Medida de la cantidad de mariposas en el aire

La llegada de *Vanessa cardui* en Cataluña se estudió a partir de los datos recogidos por el *Catalan Butterfly Monitoring Scheme* (CBMS; www.catalanbms.org/). Se utilizaron las observaciones entre el 1 de marzo y el 27 de junio (17 semanas) en el período 1997-2006, recogidas en 79 estaciones de muestreo repartidas por todo Cataluña (Figura 1). La abundancia semanal media de *V. cardui* se estimó a partir de los recuentos realizados con periodicidad semanal en cada una de las estaciones. Para los 6 años en los que los niveles poblacionales de *V. cardui* fueron lo bastante importantes (2000-2004, 2006) se calculó una retrotrayectoria diaria (un total de 714 trayectorias y 68.544 pasos temporales) a 1500 m que, asociada al correspondiente valor de abundancia, fue utilizada para los cálculos del modelo fuente-receptor.

3 Resultados

3.1 Polen de haya en Cataluña

En un trabajo anterior (Belmonte et al., 2008) y para un episodio muy destacado en el período del 15 al 19 de mayo de 2004, se mostró, tanto con las retrotrayectorias como con los datos horarios de polen, que el polen de haya procedía del centro de Europa en todas las estaciones estudiadas en Cataluña (desde Vielha a Tarragona). Este hecho ponía en evidencia la existencia de una influencia extraregional en la dinámica del polen muestreado en Cataluña. La Figura 2 muestra las concentraciones de polen en la primavera de 2004, así como la situación meteorológica sinóptica y las retrotrayectorias para este episodio.

La aplicación de modelo fuente-receptor a los datos del período 1997 a 2006 señaló como probable área de origen de polen de haya registrado en Cataluña una zona centroeuropea compartida por el norte de Italia, Suiza y el suroeste de Alemania (Figura 3).

3.2 Polen de *Chenopodiaceae/Amaranthaceae* y *Cyperaceae* en Tenerife

Según los mapas de concentraciones obtenidos por el modelo fuente-receptor, el polen de *Chenopodiaceae/Amaranthaceae* que llega a Tenerife presenta como

probable área fuente la región del Sáhara y Sahel (Figura 4a y 4b). En cambio, el área fuente del polen de Cyperaceae registrado en SCO podría situarse en la zona del Sahel (Figura 4c). Estudiando episodios puntuales con picos importantes de estos taxones polínicos se observa una coincidencia entre el día del pico y la llegada de masas de aire procedentes del Sáhara o Sahel, respectivamente, hecho que refuerza la hipótesis del posible transporte a larga distancia de polen desde el continente africano.

3.3 *Vanessa cardui* en Cataluña

En la Figura 5 se muestran las probables áreas fuente de las poblaciones de *Vanessa cardui* que llegan a Cataluña durante la primavera, destacando una zona en Marruecos, otra en Túnez y una tercera en la región tripolitana de Libia. La coincidencia entre las llegadas de olas migratorias de *V. cardui* y de vientos africanos procedentes de las zonas identificadas es una prueba indirecta de que las mariposas se han originado en estas áreas fuente (Stefanescu et al., 2007).

4 Conclusiones

Este estudio demuestra que el modelo fuente-receptor utilizado es adecuado para indicar las áreas fuente del polen registrado en Cataluña o las Islas Canarias, y de la especie de mariposa *Vanessa cardui* observada en Cataluña. El modelo muestra como área fuente del polen de haya una zona que comprende el norte de Italia, Suiza y el sur de Alemania, donde hay grandes extensiones de bosques de haya (Magri et al., 2006). Por otro lado, el modelo indica que el polen de Cyperaceae encontrado en Tenerife procede probablemente del Sahel, mientras que el de Chenopodiaceae/Amaranthaceae provendría del Sáhara. Estas familias están presentes en el territorio (African Flowering Plants Database, 2009). Estudios paleopolinológicos del polen en los sedimentos marinos delante de la costa africana también dan cuenta del transporte de Chenopodiaceae/Amaranthaceae de la zona del Sáhara (Hooghiemstra et al., 2006) y de Cyperaceae del Sáhara-Sahel (Romero et al., 2003). Aunque estas observaciones muestran la presencia del polen en el pasado, en que la distribución podría ser distinta de la actual, trabajos actuales sobre el contenido polínico atmosférico en el África Occidental, como el estudio de Calleja et al. (1993), coinciden con los resultados de los sedimentos, confirmando el transporte de estos pólenes desde África. Por lo que respecta a la mariposa *V. cardui*, el modelo propone tres áreas fuente en el Norte de África (la zona del Antiatlás marroquí, la zona de contacto entre Argelia y Túnez, y la franja tripolitana de Libia). En una expedición a Marruecos durante marzo de 2009 se localizaron varias áreas de emergencia masiva de *V. cardui* (con grandes concentraciones de larvas, pupas y adultos recién nacidos) en el valle del Souss. Estas observaciones suponen una buena validación del modelo propuesto en Stefanescu et al. (2007).

Agradecimientos. Este estudio ha recibido el apoyo de los proyectos TORNASOL (CGL2005-07543/CLI), CGL2009-11205, CGL2009-13188-01, *Xarxa Aerobiològica de Catalunya*, XAC (ICTA-UAB, Laboratorios Leti, S.L., *Servei Meteorològic de Catalunya*, Diputació de Barcelona), Proyecto EOLO-PAT, Predicción Aerobiológica para Tenerife (ICTA-UAB, CIAI-AEMET, Air Liquide España, S.A.), 2005SGR00519 *Grup de Recerca Palinològica i de Cartografia Digital BioGeoclimàtica*, 2009SGR1102 *Grup de Recerca Palinològica i de transport atmosfèric*. Proyectos CONSOLIDER GRACCIE (CSD2007-00067), CONSOLIDER MONTES (CSD2008-00040), COST Action ES0603: *EUPOL Assessment of production, release, distribution and health impact of allergenic pollen in Europe*. El *Catalan Butterfly Monitoring Scheme* (CBMS) recibe el apoyo principal del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. Se agradece la colaboración de Emilio Cuevas (Centro de Investigación Atmosférica de Izaña, CIAI-AEMET).

Referencias

- African Flowering Plants Database, 2009: Retrieved May 2009, Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève and South African National Biodiversity Institute, Pretoria, version 3.1, <http://www.ville-ge.ch/musinfo/bd/cjb/africa/>.
- Belmonte, J., Vendrell, M., Roure, J. M., Vidal, J., Botey, J., y Cadahía, A., 2000: *Levels of Ambrosia pollen in the atmospheric spectra of Catalan aerobiological stations*, *Aerobiologia*, **16**, 93–99.
- Belmonte, J., Alarcón, M., Àvila, A., Scialabba, E., y Pino, D., 2008: *Long-range transport of beech (*Fagus sylvatica* L.) pollen to Catalonia (north-eastern Spain)*, *Int J Biometeorol*, **52**, 675–687.
- Bolòs, O. y Vigo, J., 2005: *Flora dels Països Catalans*, Ed. Barcino, Barcelona, vol. II.
- Bonasoni, P., Cristofanelli, P., Calzolari, F., Bonafe, U., Evangelisti, E., Stohl, A., Sajani, S. Z., van Diengen, R., Colombo, T., y Balkanski, Y., 2004: *Aerosol-ozone correlations during dust transport episodes*, *Atmos Chem Phys*, **4**, 1201–1215.
- Calleja, M., Rossignol-Strick, M., y Duzer, D., 1993: *Atmospheric pollen content of West Africa*, *Rev Palaeobot Palynology*, **79**, 335–368.
- Chapman, J. W., Reynolds, D. R., Smith, A. D., Riley, J. R., Pedgley, D. E., y Woiwod, I. P., 2002: *High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the U.K.: a study using radar, aerial netting, and ground trapping*, *Ecol Entomol*, **27**, 641–650.
- Charron, A., Plaisance, H., Sauvage, S., Coddeville, P., Galloo, J. C., y Guillermo, R., 1998: *Intercomparison between three receptor-oriented models applied to acidic species in precipitation*, *Science of Total Environment*, **223**, 53–63.
- Dantart, J., Stefanescu, C., Àvila, A., y Alarcón, M., 2009: *Long-distance windborne dispersal of the moth *Cornifrons ulceratalis* (Lepidoptera: Crambidae: Evergestinae) into the northern Mediterranean*, *Eur J Entomol*, **106**, 225–229.
- Draxler, R. R. y Hess, G. D., 1997: *Description of the HYSPLIT modeling system*, NOAA Technical Memorandum, ERL, ARL-224, National Oceanic and Atmospheric Administration, Boulder, Colorado, 24 pp.
- French, R. A., 1969: *Migration of *Laphygma exigua* Hübner (Lepidoptera: Noctuidae) to the British Isles in relation to large-scale*

- weather systems, *J Anim Ecol*, **38**, 199–210.
- Galán, C., Cariñanos, P., Alcázar, P., y Domínguez-Vilches, E., 2007: Spanish Aerobiology Network (REA). Management and Quality Manual, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Córdoba.
- Hirst, J. M., 1952: *An automatic volumetric spore trap*, *Ann Appl Biol*, **39**, 257–265.
- Hooghiemstra, H., Lezine, A. M., Leroy, S. A. G., Dupont, L., y Marret, F., 2006: *Late quaternary palynology in marine sediments: a synthesis of the understanding of pollen distribution patterns in the NW African setting*, *Quat Int*, **148**, 29–44.
- Izquierdo, R., 2008: Efectes dels processos de transport atmosfèric sobre la dinàmica pol·línica de les Illes Canàries (Santa Cruz de Tenerife i Izaña), Treball de recerca del Doctorat en Diversitat i Funció d'Ecosistemes Mediterranis, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona.
- Johnson, C. G., 1969: Migration and dispersal of insects by flight, Methuen, London.
- Kellogg, C. A. y Griffin, D. W., 2006: *Aerobiology and the global transport of desert dust*, *Trends Ecol Evol*, **21**, 638–644.
- Mabberley, D. J., 1987: The plant-book: a portable dictionary of the higher plants, Press Syndicate of the University of Cambridge, New York.
- Magri, D., Vendramin, G. G., Comps, B., Dupanloup, I., Geburek, T., Gömöry, D., Latalouwa, M., Litt, T., Paule, L., Roure, J. M., Tantau, I., van der Knaap, W. O., Petit, R., y de Beaulieu, J. L., 2006: *A new scenario for the Quaternary history of European beach populations: paleobotanical evidence and genetic consequences*, *New Phytol*, **171**, 199–221.
- Rocha Afonso, M. L., 1990: 1. *Fagus* L., Castroviejo et al. (eds), CSIC Real Jardín Botánico. Madrid, flora Iberica. Vol. II.
- Romero, O. E., Dupont, L., Wyputta, U., Jahns, S., y Wefer, G., 2003: *Temporal variability of fluxes of aeolian-transported diatoms, phytoliths and pollen grains off Cape Blanc as a reflection of land-atmosphere-ocean interactions in northwest Africa*, *J Geophys Res-Oceans*, **108**, doi 10.1029/2000JC000375/2003.
- Schaffers, J., 2009: *Reconstruction of the origin of Antigastra catalaunalis, a new moth for the Dutch fauna (Lepidoptera: Crambidae)*, *Entomologische berichten*, **69**, 36–45.
- Seibert, P., Kromp-Kolb, H., Balterpersger, U., Jost, D. T., Schwikowski, M., Kasper, A., y Puxbaum, H., 1994: Trajectory analysis of aerosol measurements at high alpine sites, P. M. Borrel, P. Borrell, T. Cvitas and W. Seiler (Eds.) Transport and Transformation of Pollutants in the Troposphere. Academic Publishing, Den Haag, 689–693.
- Siljamo, P., Sofiev, M., Severova, E., Ranta, H., Kukkonen, J., Plevova, S., Kubin, E., y Minin, A., 2008: *Sources, impact and exchange of early-spring birch pollen in the Moscow region and Finland*, *Aerobiologia*, **24**, 211–230.
- Skjoth, C. A., Sommer, J., Stach, A., Smith, M., y Brandt, J., 2007: *The long-range transport of birch (Betula) pollen from Poland and Germany causes significant pre-season concentrations in Denmark*, *Clin Exp Allergy*, **37**, 1204–1212, doi: 10.1111/j.1365-2222.2007.02771.x.
- Sofiev, M., Siljamo, P., Ranta, H., y Rantio-Lehtimäki, A., 2006: *Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: theoretical considerations and a feasibility study*, *Int J Biometeorol*, **50**, 392–402.
- Stefanescu, C., Alarcón, M., y Àvila, A., 2007: *Migration of the Painted Lady butterfly Vanessa cardui to north-eastern Spain is aided by African wind currents*, *J Anim Ecol*, **76**, 888–898.
- Stohl, A., 1996: *Trajectory statistics - A new method to establish source-receptor relationship of air pollutants and its application to the transport of particulate sulfate in Europe*, *Atmos Environ*, **30**, 579–587.
- Terradas, J., 1984: Introducció a l'ecologia del faig al Montseny, Diputació de Barcelona, Barcelona, 83 pp.