

Aplicació de models font-receptor per a determinar àrees font de components biològics (pol·len i papallones)

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

¹Departament de Física i Enginyeria Nuclear, Universitat Politècnica de Catalunya, C/ Urgell 187, 08036 Barcelona

²CREAF, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

³Unitat de Botànica i ICTA, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra

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

Rebut: 12-III-2009 – Acceptat: 4-VIII-2009 – Versió Original

Correspondència a: marta.alarcon@upc.edu

Resum

*Els models font-receptor permeten establir relacions entre un punt receptor (punt de mostreig) i les àrees font probables (regions emissores) mitjançant l'associació de valors de concentració en el punt receptor amb les corresponents retrotrajectòries atmosfèriques, i, juntament amb altres tècniques, permeten interpretar fenòmens de transport a escala sinòptica. Aquests models s'han utilitzat generalment en estudis de contaminació atmosfèrica per determinar les zones d'origen de compostos químics mesurats en un punt de mostreig, i així poder orientar les actuacions de reducció de contaminants. No obstant això, fins a l'actualitat, pocs treballs han aplicat aquests tipus de models per descriure les àrees font d'organismes biològics. A Catalunya es disposa de registres molt complets de pol·len (dades de la Xarxa Aerobiològica de Catalunya) i de papallones (dades del Catalan Butterfly Monitoring Scheme), un material biològic també susceptible de ser transportat a llargues distàncies i del que pot interessar conèixer les seves àrees d'origen. En aquest treball presentem els resultats de l'ús del model de Seibert et al. aplicat a l'estudi de les regions font de: (1) determinats pol·lens de caràcter al·lèrgic, observats a Catalunya i Canàries, i (2) la papallona migratòria *Vanessa cardui*, observada a Catalunya. Amb els resultats obtinguts podem corroborar la idoneïtat d'aquests models per a explicar la procedència de diferents espècies, tant químiques com biològiques, ampliant així les possibilitats d'aplicació del model original al camp molt més extens de l'aerobiologia.*

Paraules clau: estadística de trajectòries, transport a gran distància, pol·len, papallones, aerobiologia

1 Introducció

El temps de residència de les substàncies que, per processos naturals o per causes antròpiques, s'introdueixen a l'atmosfera pot ser molt variable, però generalment prou llarg (més d'un dia) com per que puguin ser transportades lluny de les fonts d'emissió, i dipositar-se a milers de km sobre sòls i oceans. Tot i la complexitat de les interaccions entre les diferents escales, simplificant, podem distingir entre transport a petita escala (en què una part important de la substància es dipositarà a prop de les fonts, per exemple a menys d'una distància horitzontal de 100 km) i transport a gran escala. El primer té lloc en la capa fronterera sota la influència predominant de les circulacions d'escala local, com les brises i els efectes orogràfics. El transport a grans

distàncies té lloc a la troposfera lliure i és governat pels patrons de circulació a escala global i pels sistemes a escala sinòptica.

Entre les eines més habituals que s'utilitzen per l'estudi del transport trobem l'anàlisi de mapes sinòptics, la teledetecció, el tractament de variables meteorològiques com la pressió i el geopotencial, l'ús de models eulerians com SKIRON i NAAPS, els models lagrangians com els que es basen en càlcul de trajectòries (Hysplit, Flextra, etc.) i models estadístics com els de tipus font-receptor que apliquem en el present treball. Aquests models, que es basen en l'anàlisi estadística de trajectòries atmosfèriques, no tenen en compte explícitament la difusió atmosfèrica, les transformacions químiques ni els processos d'eliminació per deposició seca i/o humida.



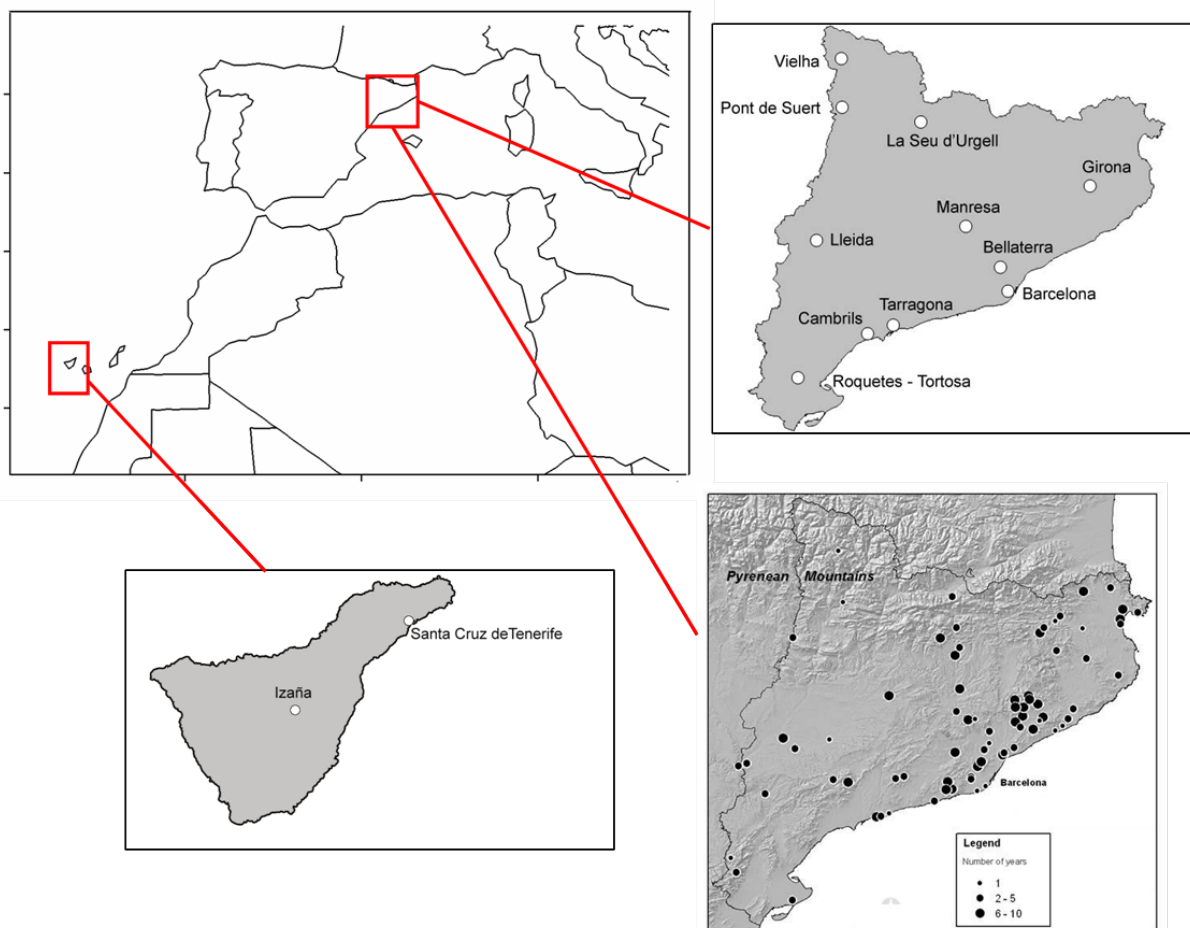


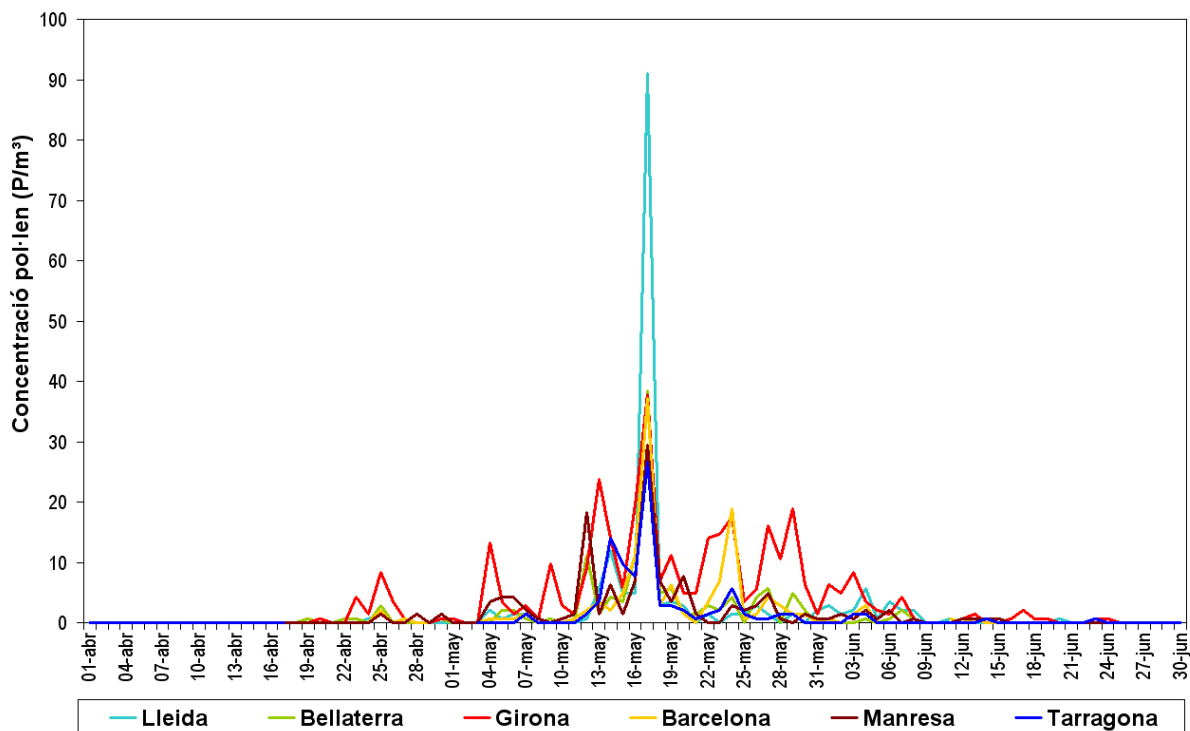
Figura 1. Estacions de mostreig: dreta superior, les de pol·len a Catalunya; dreta inferior, les de la papallona *Vanessa cardui* a Catalunya, esquerra inferior, les de pol·len a Tenerife.

Usualment, els models font-receptor s'han usat en l'estudi del transport de compostos químics a l'atmosfera, com per exemple, el transport de la pols mineral (Bonasoni et al., 2004), l'ozó (Seibert et al., 1994), components acidificants (Stohl, 1996) i altres contaminants (Charron et al., 1998). Però l'atmosfera conté també material biològic, com microorganismes, espores fúngiques, diàspores de plantes (pol·len i llavors de mida petita), i animals petits, com insectes i aràcnids que tenen part del seu cicle vital a l'atmosfera (Johnson, 1969). Aquest material pot ser injectat a grans alçades (>1000 m) i ser transportat a grans distàncies (Chapman et al., 2002; Kellogg i Griffin, 2006) pels mateixos mecanismes que desplacen gasos i partícules químiques. Per tant, el comportament atmosfèric del material biològic és susceptible de ser tractat amb els mateixos mètodes que els emprats amb els compostos químics. Recentment, alguns autors han usat retrotrajectòries i models de transport per explicar el moviment del pol·len a gran escala (Belmonte et al., 2000, 2008; Sofiev et al., 2006; Skjoth et al., 2007; Siljamo et al., 2008). Així mateix, també s'han utilitzat retrotrajectòries per explicar

els desplaçaments a llarga distància de papallones (French, 1969; Stefanescu et al., 2007; Dantart et al., 2009; Schaffers, 2009). No obstant, fins a l'actualitat molt pocs treballs han aplicat models de tipus font-receptor per descriure les àrees font d'organismes biològics. En aquest treball presentem els resultats de l'ús del model font-receptor de Seibert et al. (1994) aplicat a l'estudi de les àrees font de pol·len i papallones que arriben al nord-est de la Península Ibèrica i a les Illes Canàries transportats pel vent, ampliant així les possibilitats d'aplicació del model original al camp molt més extens de l'aerobiologia.

Concretament, en aquest treball presentem els resultats de l'aplicació del model per estimar les àrees font de: (1) el pol·len de faig (*Fagus sylvatica* L.) observat a Catalunya, (2) el pol·len de Chenopodiaceae/Amaranthaceae i Cyperaceae observat a Tenerife, Illes Canàries, i (3) la papallona *Vanessa cardui* observada a Catalunya.

A part de l'elevat interès científic de la modelització de les àrees font per comprendre els cicles vitals de les espècies, l'ús d'aquests models pot resultar de gran utilitat a biòlegs, metges al·lèrgics i gestors de la qualitat ambiental



University of Athens (AM&WFG) SKIRON Forecast
Temperature and Geop. Height at 850 hPa 17.05.04 at 00 UTC

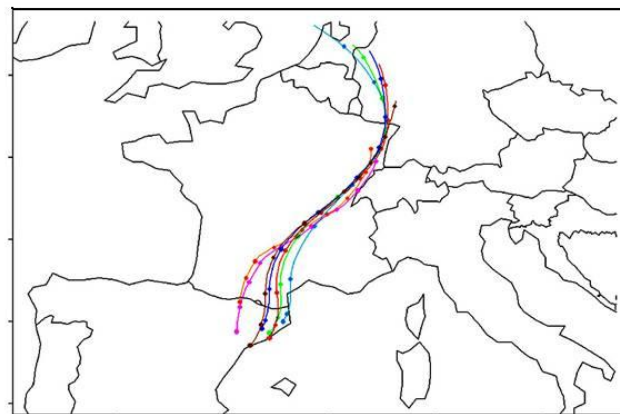
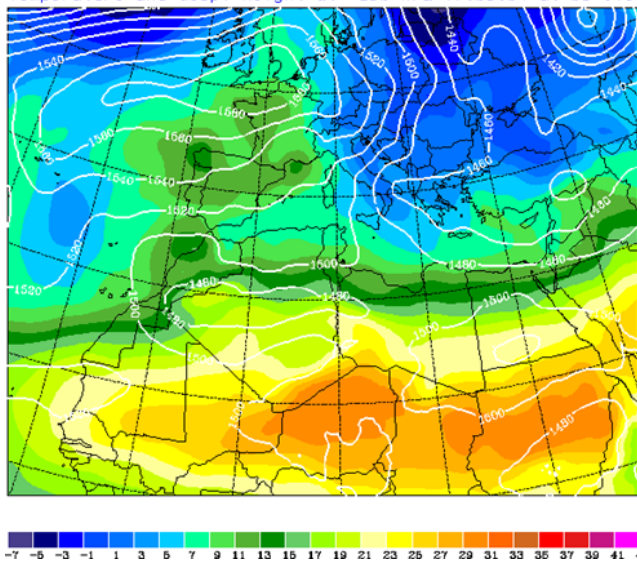


Figura 2. (a) (a dalt) Dinàmica pol·línica del faig en el període 1 d'abril a 30 de juny de 2004 (mitjana diària en grans de pol·len m^{-3}) a les diferents estacions; es destaca el pic del 17 de maig; (b) (a baix a l'esquerra) altura geopotencial a 850 hPa a les 00 UTC el 17 de maig de 2004; (c) (a baix a la dreta) retrotrajectòries isentròpiques de 96 hores calculades amb Hysplit per al 17 de maig de 2004 a les 12 UTC amb origen a les estacions aerobiològiques de Catalunya, a 1000 i 3000 m sobre el nivell del mar.

en l'estudi i tractament de problemes com les plagues o les al·lèrgies respiratòries.

2 Metodologia

2.1 Organismes estudiats

El faig és un arbre àmpliament distribuït a Europa Central però molt més local a Catalunya i la Península Ibèrica, on requereix precipitacions per damunt de 1000 mm any⁻¹ (Terradas, 1984) i es troba en valls i vessants fresques i humides (Rocha Afonso, 1990), normalment entre 500 (excepcionalment 300) i 2000 m d'altitud sobre el nivell del mar (Bolòs i Vigo, 2005). Malgrat això, s'ha observat la presència simultània de pol·len de faig (tot i que sovint, de forma esporàdica) a varies de les estacions aerobiològiques estudiades a Catalunya. En aquest treball pretenem situar les regions de procedència del pol·len d'aquest arbre, típicament centreuropeu, a les estacions de Catalunya.

Les famílies Chenopodiaceae, Amaranthaceae i Cyperaceae són cosmopolites (Mabberley, 1987) i, per tant, estan presents en multitud d'ambients d'arreu del món, incloses les àrees seques i desèrtiques. Dins de cada una d'aquestes famílies hi ha nombrosos gèneres i espècies més o menys fàcilment diferenciables entre ells. En canvi, el pol·len de les diferents espècies és indistingible, i només pot ser identificat fins a nivell de família en el cas de les ciperàcies o com a pertanyent al grup quenopodiàcies/amarantàcies en el cas de les altres dues famílies. En un estudi previ (Izquierdo, 2008), l'anàlisi de l'espectre pol·línic de les estacions de Tenerife va reflectir la importància tant de les aportacions local/regional com del transport a escala extraregional. La relació entre la procedència de les masses d'aire i les concentracions mitjanes diàries de cada tàxon es va estudiar amb una anàlisi estadística de la variància, considerant la zona de procedència com a factor. Els resultats van relacionar vuit tàxons amb el transport a escala extraregional, entre els quals els grups Chenopodiaceae/Amaranthaceae i Cyperaceae mostraren un clar origen africà.

Vanessa cardui és una papallona migratòria de la família dels nimfàlids que cada any, als mesos de primavera, recolonitza Catalunya procedent del Nord d'Àfrica. Les observacions de *V. cardui* volant arran de terra en una direcció definida havien fet creure fins fa poc que la seva migració depenia exclusivament de la pròpia activitat voladora de la papallona, però el treball de Stefanescu et al. (2007) va demostrar la connexió existent entre les arribades de les papallones i la presència d'un flux de masses d'aire procedents d'Àfrica, la qual cosa fa pensar que el seu desplaçament es beneficia de patrons de circulació atmosfèrica a escala sinòptica.

2.2 Model font-receptor

El model font-receptor consisteix en una aproximació estadística que combina dades de concentració en un lloc de

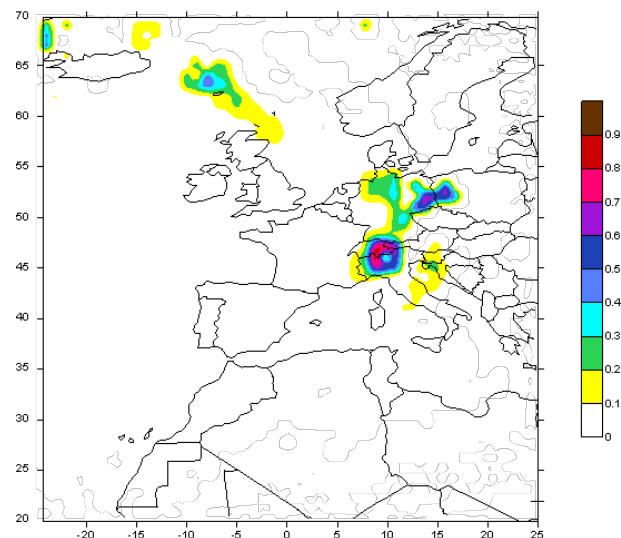


Figura 3. Àrees font del pol·len de faig calculades en base a les dades 1 d'abril - 30 de juny del període de 10 anys de mostreig 1997-2006. Concentració en grans de pol·len m⁻³ (p m⁻³).

mostreig amb les coordenades dels punts per on han passat les trajectòries atmosfèriques que arriben al lloc de mostreig. D'aquesta manera permet establir associacions entre el punt receptor i les possibles àrees font.

Per fer això, s'han de calcular prèviament les retrotrajectòries diàries a una alçada determinada durant el període corresponent al temps de mostreig. Les retrotrajectòries s'associen així a un valor de concentració de l'element d'interès en la localitat receptora. Al domini d'integració de les trajectòries, que és el que correspon a la regió mostrada a les Figures 3, 4 i 5, va superposada una quadrícula sobre la qual es defineix un conjunt de cel·les amb la resolució espacial que convingui, 1° × 1° en el nostre cas. Existeixen diferents metodologies per determinar les zones font probables. En el nostre estudi s'ha utilitzat el mètode de Seibert (Seibert et al., 1994), que calcula una concentració mitjana logarítmica per a cada cel·la en funció del temps de residència de les trajectòries en les diferents cel·les:

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

on C_{ij} és la concentració a la cel·la (i, j) , l és l'índex de la trajectòria, C_l és la concentració a la localitat receptora corresponent a la trajectòria l i n_{ijl} és el nombre de passos de temps de la trajectòria l a la cel·la (i, j) .

En aquest estudi s'han calculat trajectòries isentròpiques, de pas temporal de 60 minuts, amb el model HYSPLIT-4 (*Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model*; Draxler i Hess, 1997) del NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*; <http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>) a 1500 metres sobre el nivell del mar (m s.n.m.) a partir de les dades meteorològiques del *U.S. National Climate Data Center*

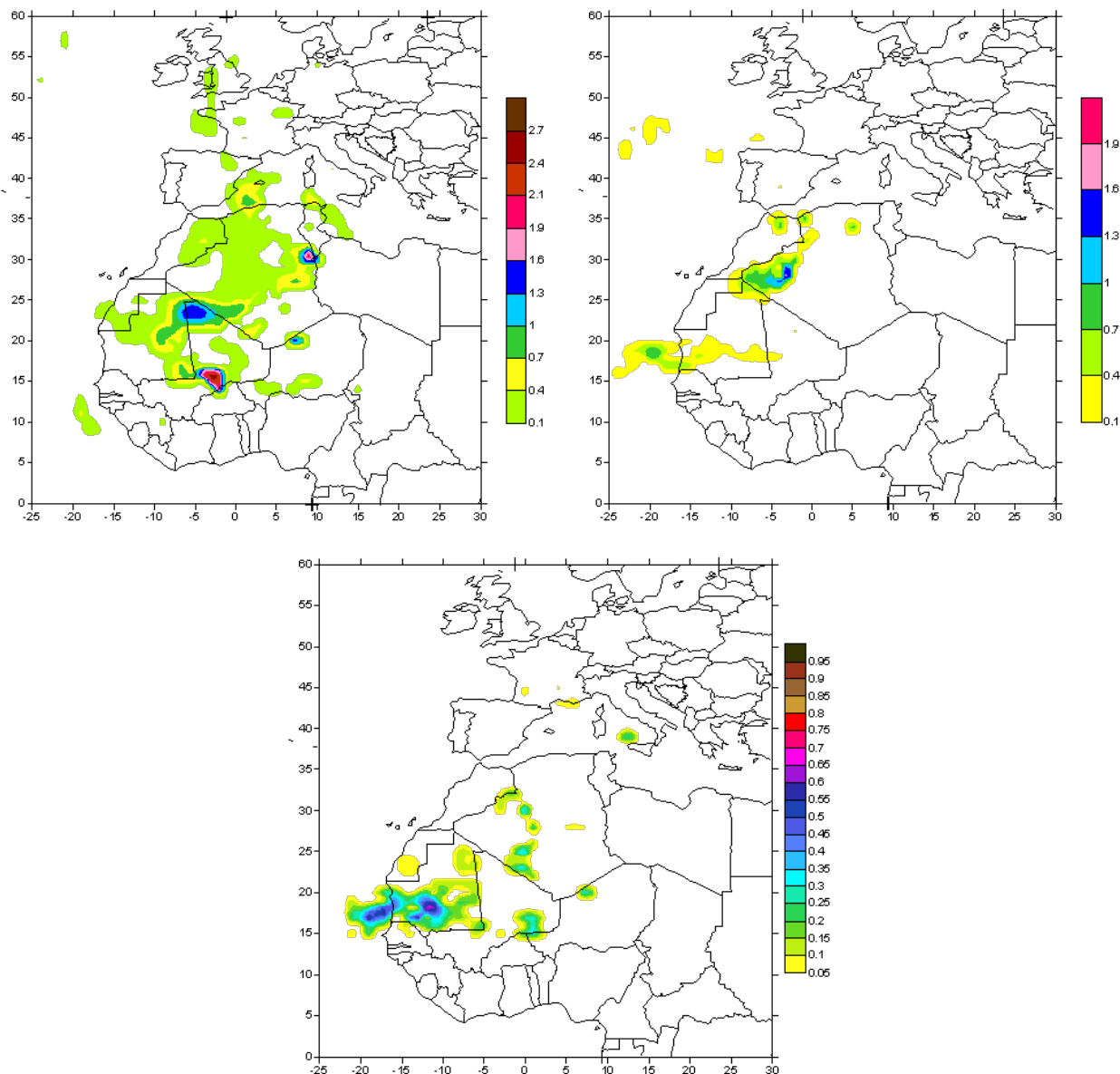


Figura 4. Àrees font del pol·len de Chenopodiaceae/Amaranthaceae per a (a) (a dalt a l'esquerra) SCO, calculades en base a les dades del període de mostreig 1 de gener 2006 - 31 de desembre 2007, i (b) (a dalt a la dreta) IZO calculades en base a les dades del període de mostreig 11 de juny - 11 de novembre de 2006 i 23 d'abril - 4 de novembre de 2007; i (c) (a baix) Cyperaceae SCO, calculades en base a les dades del període de mostreig 1 d'octubre - 31 de desembre dels anys 2005, 2006 i 2007. Concentració (μm^{-3}).

(període 1997-2007) i *NCEP/NCAR Reanalysis* (període 1983-1996). La altura de 1500 m, que correspon aproximadament al nivell estàndar de pressió de 850 hPa, s'ha triat pel fet que és la més representativa del transport a la baixa troposfera, ja que es troba a la frontera entre el règim de vents de superfície i els de la troposfera lliure. Per minimitzar la incertesa de les trajectòries s'ha aplicat un mètode de suavitzat de manera que el valor de cada cel·la ha estat reemplaçat pel valor mitjà entre la cel·la i les vuit cel·les del seu entorn. Finalment, s'ha aplicat un filtre per excloure les cel·les amb menys de 5 segments de trajectòria (passos temporals). El mapa de concentració obtingut així

reflecteix la contribució de cada cel·la a la concentració en el punt receptor. En els tres casos en què hem aplicat el model, els períodes mostrejats han estat suficientment llargs per ser estadísticament representatius.

2.3 Mesura dels nivells de pol·len a l'atmosfera

El mostreig aerobiològic a Catalunya i a Tenerife es va realitzar mitjançant el mètode de mostreig estàndar acordat en les xarxes aerobiològiques europees (mètode Hirst; Hirst, 1952), i seguint les metodologies d'anàlisi que regeixen a les xarxes espanyoles (Galán et al., 2007) que proporcionen

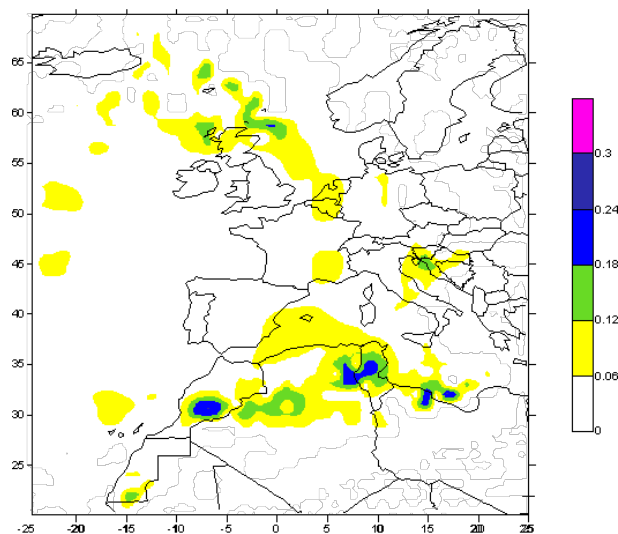


Figura 5. Àrees font de *Vanessa cardui*, calculades en base a les dades 1 de març - 27 de juny del període de 10 anys de mostreig 1997-2006. Abundància (individus en 100 m de transsecte de comptatge).

concentracions mitjanes diàries en grans de pol·len per metre cúbic (p m^{-3}). La presència de pol·len de faig a Catalunya es va estudiar revisant el conjunt de dades disponibles que comprèn el període 1983-2007 i les estacions de Barcelona, Bellaterra, Cambrils, Girona, Lleida, Manresa, Pont de Suert, Roquetes, Seu d'Urgell, Tarragona i Vielha (Figura 1). Aquestes dades mostraven que, malgrat l'escassa distribució de la planta en l'àrea d'estudi, el pol·len es presentava en alguns moments puntuals, de forma simultània, al conjunt del territori. Per a un període de deu anys (1997-2006), es van calcular les retrotrajectòries durant el període de floració del faig (1 d'abril - 30 de juny), 720 trajectòries i 69.120 passos temporals, a 1500 m d'altura en un punt geogràfic representatiu de la regió (41.8°N, 1.5°W), i es va utilitzar el valor mitjà de les concentracions a les estacions.

L'arribada de pol·len de Chenopodiaceae/Amaranthaceae i Cyperaceae a Tenerife es va estudiar a partir de les concentracions mitjanes diàries enregistrades a les estacions de Santa Cruz de Tenerife (SCO, a 52 m s.n.m.) i Izaña (IZO, a 2367 m s.n.m.) (Figura 1). El període de mostreig a SCO va ser continu durant els anys 2006-2007, però a IZO va estar limitat al període de l'11 de juny a l'11 de novembre del 2006 i del 23 d'abril al 4 de novembre del 2007 a causa de les condicions meteorològiques adverses de la resta de l'any. Per a cada dia de mostreig es va calcular la retrotrajectòria a 1500 m per SCO (730 trajectòries i 70.080 passos temporals) i 2500 m per IZO (349 trajectòries i 33.504 passos temporals). En el cas de Cyperaceae l'aplicació del mètode font-receptor només va ser possible a SCO i mitjançant la utilització d'un període específic (1 octubre - 31 desembre 2005-2007, 276 trajectòries i 26.496 passos temporals).

2.4 Mesura de la quantitat de papallones a l'aire

L'arribada de *Vanessa cardui* a Catalunya es va estudiar a partir de les dades recollides pel *Catalan Butterfly Monitoring Scheme* (CBMS; www.catalanbms.org/). Es van usar les observacions entre l'1 de març i el 27 de juny (17 setmanes) en el període 1997-2006, recollides en 79 estacions de mostreig repartides per tot Catalunya (Figura 1). L'abundància setmanal mitjana de *V. cardui* es va estimar a partir dels comptatges realitzats amb periodicitat setmanal en cadascuna de les estacions. Per als 6 anys en què els nivells poblacionals de *V. cardui* van ser prou importants (2000-2004, 2006) es va calcular una retrotrajectòria diària (un total de 714 trajectòries i 68.544 passos temporals) a 1500 m que, associada al corresponent valor d'abundància, va ser utilitzada per als càlculs del model font-receptor.

3 Resultats

3.1 Pol·len de faig a Catalunya

En un treball anterior (Belmonte et al., 2008) i per a un episodi molt destacat en el període del 15 al 19 de maig de 2004, es va mostrar, tant amb les retrotrajectòries com amb dades horàries de pol·len, que el pol·len de faig procedia de centre Europa a totes les estacions estudiades a Catalunya (des de Vielha fins a Tarragona). Aquest fet posava en evidència l'existència d'una influència extraregional en la dinàmica del pol·len mostrejat a Catalunya. La Figura 2 mostra les concentracions de pol·len a la primavera de 2004, així com la situació meteorològica sinòptica i les retrotrajectòries per a aquest episodi.

L'aplicació del model font-receptor a les dades del període 1997 a 2006 va assenyalar com a probable àrea d'origen del pol·len de faig enregistrat a Catalunya una zona centreeuropea compartida pel nord d'Itàlia, Suïssa i el sud-oest d'Alemanya (Figura 3).

3.2 Pol·len de Chenopodiaceae/Amaranthaceae i Cyperaceae a Tenerife

Segons els mapes de concentracions obtinguts pel model font-receptor, el pol·len de Chenopodiaceae/Amaranthaceae que arriba a Tenerife presenta com a probable àrea font la regió del Sàhara i Sahel (Figura 4a i 4b). En canvi, l'àrea font del pol·len de Cyperaceae enregistrat a SCO podria situar-se a la zona del Sahel (Figura 4c). Estudiant episodis puntuals amb pics importants d'aquests taxons pol·línics s'observa una coincidència entre el dia del pic i l'arribada de masses d'aire procedents del Sàhara o Sahel, respectivament, fet que reforça la hipòtesi del possible transport a llarga distància de pol·len des del continent africà.

3.3 *Vanessa cardui* a Catalunya

A la Figura 5 es mostren les probables àrees font de les poblacions de *Vanessa cardui* que arriben a Catalunya durant la primavera, destacant-ne una zona al Marroc, una altra a Tunísia i una tercera a la regió Tripolitana de Líbia. La coincidència entre les arribades d'onades migratòries de *V. cardui* i de vents africans procedents de les zones identificades és una prova indirecta que les papallones s'han originat en aquestes àrees font (Stefanescu et al., 2007).

4 Conclusions

Aquest estudi demostra que el model font-receptor utilitzat és adequat per indicar les àrees font del pol·len enregistrat a Catalunya o les Illes Canàries, i de l'espècie de papallona *Vanessa cardui* observada a Catalunya. El model mostra com a àrea font del pol·len de faig una zona que comprèn el nord d'Itàlia, Suïssa i el sud d'Alemania, on hi ha grans extensions de boscos de faig (Magri et al., 2006). D'altra banda, el model indica que el pol·len de Cyperaceae trobat a Tenerife procedeix probablement del Sahel, mentre que el de Chenopodiaceae/Amaranthaceae provindria del Sàhara. Aquestes famílies estan presents en el territori (African Flowering Plants Database, 2009). Estudis paleopalino lògics del pol·len als sediments marins davant de la costa africana també reporten el transport de Chenopodiaceae/Amaranthaceae de la zona del Sàhara (Hooghiemstra et al., 2006), i el de Cyperaceae del Sàhara-Sahel (Romero et al., 2003). Tot i que aquestes observacions mostren la presència de pol·len en el passat, en què la distribució de les plantes podria ser diferent de l'actual, treballs actuals sobre el contingut pol·línic atmosfèric a l'Àfrica Occidental, com l'estudi de Calleja et al. (1993), coincideixen amb els resultats dels sediments, confirmant el transport d'aquests pòl·lens des d'Àfrica. Pel que fa a la papallona *V. cardui*, el model proposa tres àrees font al Nord d'Àfrica (la zona de l'Antiàtlas marroquí, la zona de contacte entre Argèlia i Tunísia, i la franja Tripolitana de Líbia). En una expedició al Marroc durant el març de 2009 es van localitzar diverses àrees d'emergència massiva de *V. cardui* (amb grans concentracions de larves, pupes i adults acabats de nèixer) a la vall del Souss. Aquestes observacions suposen una bona validació del model proposat a Stefanescu et al. (2007).

Agraïments. Aquest estudi ha rebut suport dels projectes TORNASOL (CGL2005-07543/CLI), CGL2009-11205, CGL2009-13188-01, Xarxa Aerobiològica de Catalunya, XAC (ICTA-UAB, Laboratoris Leti, S.L., Servei Meteorològic de Catalunya, Diputació de Barcelona), *Proyecto EOLO-PAT, Predicción Aerobiológica para Tenerife* (ICTA-UAB, CIAI-AEMET, Air Liquide de España, S.A.), 2005SGR00519 Grup de Recerca Palinològica i de Cartografia Digital BioGeoclimàtica, 2009SGR1102 Grup de Recerca Palinològica i de transport atmosfèric. Projectes 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) rep el suport principal del Departament de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. S'agraeix la col·laboració de Emilio Cuevas (*Centro de Investigación Atmosférica de Izaña*, CIAI-AEMET).

Referències

- 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., i 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., i 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. i 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 Diugenen, R., Colombo, T., i Balkanski, Y., 2004: *Aerosol-ozone correlations during dust transport episodes*, *Atmos Chem Phys*, **4**, 1201–1215.
- Calleja, M., Rossignol-Strick, M., i 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., i 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., i 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., i 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. i 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., i 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., i 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. i 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., i de Beaulieu, J. L., 2006: *A new scenario for the Quaternary history of Europaen 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., i Wefer, G., 2003: *Temporal variability of fluxes of eolian-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., Balterpensger, U., Jost, D. T., Schwikowski, M., Kasper, A., i 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., Polevova, S., Kubin, E., i 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., i 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., i 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., i 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.