

Aplicación del análisis de retrotrayectorias en Aerobiología

Luis Negral, Belén Elvira-Rendueles, José M^a Moreno, Antonio García-Sánchez, Stella Moreno-Grau

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Universidad Politécnica de Cartagena

Luis.negral@upct.es

RESUMEN

El uso de los modelos de retrotrayectorias de masas de aire en Aerobiología se ha incrementado en los últimos años como herramienta para la trazabilidad de los bioaerosoles, especialmente de los alóctonos. Para que los transportes a larga distancia se produzcan, es condición la existencia de potentes situaciones sinópticas capaces de inyectar en altura el bioaerosol con el subsiguiente arrastre. A menudo los desplazamientos conllevan incertidumbres en la representación de las retrotrayectorias, explicadas por las limitaciones de mallado de las bases de datos meteorológicas. Sin embargo, diversas opciones de computación de las bases de datos a través de modelos como el HYSPLIT permiten controlar y minimizar los errores causados por la interpolación espacio temporal. Se utilizan retrotrayectorias isobáricas, isentrópicas o 3D. Cuando el dominio de estudio es reducido y muy bien mallado, se han llegado a emplear en áreas limitadas, como campos de cultivo, para el estudio de hibridación en especies anemófilas. La aplicación más recurrente en Aerobiología ha sido sobre granos de polen de plantas anemófilas alérgicas, cuyo comportamiento anual ve "distorsionado" su perfil gaussiano debido a la presencia de granos de polen fuera de la época de floración de los especímenes locales, por transporte a larga distancia. También se han empleado retrotrayectorias en el estudio de la propagación de especies invasoras de insectos, en el bioaerosol marino, en esporas fúngicas y diatomeas.

Palabras clave: HYSPLIT; polen; retrotrayectoria; masa de aire; advección

ORIGEN Y PRIMEROS USOS

La representación y aplicación de las retrotrayectorias para conocer las rutas de las masas de aire es una herramienta de modelización meteorológica que ha encontrado gran aplicación en muchas disciplinas cuyo objeto de estudio está en la atmósfera. Nacieron durante la Guerra fría para encontrar la fuente de los isótopos radiactivos detectados en un vuelo de reconocimiento estadounidense próximo a la Península de Kamchatka¹. Hoy en día son un instrumento habitual en todos aquellos artículos científicos que impliquen el material aerovagante. Sea abiótico, como el polvo de los desiertos africanos² o biótico, como es el bioaerosol³, elemento de estudio de la Aerobiología.

Rantio-Lehtimäki sentó la transversalidad de la Aerobiología al afirmar que "ya no es suficiente con que los aerobiólogos identifiquen los granos de polen y esporas fúngicas bajo el microscopio; pues se espera de ellos que suministren información a alergólogos, quienes quieren conocer las concentraciones de varios alérgenos en las muestras de aire, y a meteorólogos, quienes necesitan saber la frecuencia de aerosoles biológicos primarios, que pueden intervenir en el balance radiativo de la atmósfera"⁴. Así, de las primeras veces que se estudió en España la posibilidad de que el polen fuera inyectado en capas altas de la atmósfera por fenómenos convectivos para, posteriormente, experimentar advección y ser detectado a cientos de kilómetros del potencial foco, fue con el modelo del Instituto Nacional de Meteorología LAM-INM para el polen de Cannabis procedente de Marruecos⁵. Entre las situaciones meteorológicas que motivaban este fenómeno, se describieron situaciones de pantano barométrico que, 15 años más tarde, serían identificadas como uno de los escenarios de transporte de polvo africano que singularmente afectan al sudeste de la Península Ibérica⁶.

Actualmente la National Oceanic and Atmospheric Administration pone a disposición de los cibernautas el modelo Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory model (HYSPLIT)¹. Un modelo que, como tal, tiene sus fuentes de incertidumbre⁷⁻⁹ pero que, reconociéndolas, ha experimentado gran difusión entre los aerobiólogos, bien por sí mismo¹⁰, bien con el complemento de otras herramientas de geoestadística o dispersivas^{3,11-13}. Un logro destacable en el empleo del HYSPLIT es la mejora de la interpretabilidad de los recuentos polínicos al conseguir la distribución normal cuando se retiran de las series de datos los eventos de transporte a larga distancia.¹⁴

CONSIDERACIONES DEL MODELO DE CÁLCULO DE RETROTRAYECTORIAS (HYSPLIT) Y APLICACIONES

Independientemente del país de desarrollo del modelo de retrotrayectorias¹⁵⁻¹⁷ los cálculos deben aplicarse sobre bases de datos meteorológicas. Dichas bases tienen su correspondiente resolución espacial y temporal en el dominio de estudio. Es decir, para un mismo algoritmo de cálculo, la calidad final de las retrotrayectorias va a ser dependiente de las incertidumbres consecuentes de las interpolaciones entre pasos espaciales y lapsos temporales. Una base

de datos como la U.S. NCEP/NCAR Reanalysis Data Set puede suponer que la desviación relativa del transporte horizontal, a las 96 horas de proyección, sea del 3-4 %⁸. Entre las bases de datos empleadas en Aerobiología se hallan NCEP/EDAS, de resolución horizontal de 80 km y temporal de 3 horas¹¹, NCEP/GDAS de 1° y 3 horas³ o ECMWF de 25 km y 3 horas¹⁸.

Respecto del método de cálculo se han optado diversos planteamientos: el euleriano, el lagrangiano o una combinación de ambos, como ocurre en HYSPLIT1. Además, las retrotrayectorias pueden calcularse en función del movimiento vertical de las masas de aire: isentrópicas, isobáricas, isohipsas o 3-D. Estudios comparativos han abordado la idoneidad de unas u otras según errores estadísticos determinados como la desviación relativa y absoluta del transporte horizontal y la desviación absoluta del transporte vertical^{7,8}. Las retrotrayectorias más frecuentemente empleadas son las isentrópicas^{5,14,19,20} y las 3D^{10,13,18}, habiéndose demostrado que a pesar ser más sensibles las 3D también muestran mayores desviaciones⁸. Una manera de reducir los efectos de la incertidumbre ha consistido en ensamblar múltiples retrotrayectorias con ligeras variaciones espacio temporales^{21,22}.

En muchas ocasiones los errores de cálculo de las retrotrayectorias podrían venir motivados por la inadecuada altura de cálculo para el propósito de la investigación. Podría tener sentido el cálculo de retrotrayectorias a baja altitud (ej. 200 m) cuando se pretende estudiar el transporte en un radio corto (ej. 20 km), con bajo tiempo de permanencia en la atmósfera del bioaerosol o que pierda su viabilidad (ej. 1-4 horas para polen de maíz), donde lo que se pretende estudiar es la efectividad de la distancia de separación entre cultivos como medida profiláctica entre poblaciones de maíz autóctono y cultivos de maíz transgénico²³. Si lo que se pretende es detectar transportes a larga distancia, parece lógico pensar que el bioaerosol debería haber sido inyectado a capas altas troposféricas para ganar tiempo de desplazamiento previo a sedimentar. Es por ello que los transportes a larga distancia deberían fijarse en las capas altas: hasta los 6000 m para transporte de diatomeas y granos de polen desde el Sahara al Atlántico¹⁶; hasta 3000 m para transporte monzónico de polen de Artemisia y Amaranthaceae desde el norte de China a su Mar Oriental²⁴ o granos de polen de varias especies arbóreas desde Canadá a Groenlandia²⁵; y hasta 1500 m para polen de Betula desde el suroeste de Rusia a Suecia¹⁵ o polen de Ambrosia desde Hungría/Serbia hasta Cataluña¹⁹. Las retrotrayectorias a 10 m se han empleado en España con polen de olivo¹⁸. No obstante, esta opción debe evaluarse con cautela por las limitaciones que

sobre la dispersión generan los efectos de turbulencia y fricción causados por la proximidad al suelo²¹.

Aparte de los señalados, el mayor uso de las retrotrayectorias ha sido para el estudio de los granos de polen alergénicos aerovagantes, entre los que cabe citar Ambrosia^{13,17,19,22,26,27}, Betula^{15,28-30}, Juniperus^{14,31}, Olea^{3,10,18,20} o Quercus³². También se ha descrito para esporas fúngicas, Alternaria, Cladosporium y Ganoderma en Gran Bretaña^{12,33,34}; bioaerosol marino³⁵; y en entomología³⁶.

BIBLIOGRAFÍA

- Stein AF, Draxler RL, Rolph GD, et ál. NOAA's hysplit atmospheric transport and dispersion modeling system. Bull. Am. Meteorol. Soc. 2015; 96: 2059-77.
- Negral L, Moreno-Grau S, Moreno J, et ál. Natural and anthropogenic contributions to PM10 and PM2.5 in an urban area in the western Mediterranean coast. Water. Air. Soil Pollut. 2008; 192:227-38.
- Rojo J, Pérez-Badia R. Spatiotemporal analysis of olive flowering using geostatistical techniques. Sci. Total Environ. 2015; 505:860-9.
- Rantio-Lehtimäki A. Short, medium and long range transported airborne particles in viability and antigenicity analyses. Aerobiologia 1994; 10:175-81.
- Cabezudo B, Recio M, Sánchez-Laulhé JM, et ál. Atmospheric transportation of marijuana pollen from North Africa to the southwest of Europe. Atmos. Environ. 1997; 31:3323-28.
- Negral L, Moreno-Grau S, Querol X, et ál. Weak pressure gradient over the Iberian Peninsula and African dust outbreaks: A new dust long-transport scenario. Bull. Am. Meteorol. Soc. 2012; 93:1125-32.
- Stohl A, Seibert P. Accuracy of trajectories as determined from the conservation of meteorological tracers. Q. J. R. Meteorol. Soc. 1998; 124:1465-84.
- Harris JM, Draxler RR, Oltmans SJ. Trajectory model sensitivity to differences in input data and vertical transport method. J. Geophys. Res. D Atmos. 2005; 110: D14109.
- Freitag S, Clarke AD, Howell SG et ál. Combining airborne gas and aerosol measurements with HYSPLIT: A visualization tool for simultaneous evaluation of air mass history and back trajectory consistency. Atmos. Meas. Tech. 2014; 7:107-28.
- Hernández-Ceballos MA, Skjøth CA, García-Mozo H, et ál. Improvement in the accuracy of back trajectories using WRF to identify pollen sources in southern Iberian Peninsula. Int. J. Biometeorol. 2014; 58:2031-43.
- Efstathiou C, Isukapalli S, Georgopoulos P. A mechanistic modeling system for estimating large-scale emissions and transport of pollen and co-allergens. Atmos. Environ. 2011; 45:2260-76.

12. 1Sadyś M, Skjøth CA, Kennedy R. Determination of *Alternaria* spp. habitats using 7-day volumetric spore trap, Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory model and geographic information system. *Urban Clim.* 2015; 14:429–40.
13. Makra L, Matyasovszky I, Tusnányi G, et ál. Biogeographical estimates of allergenic pollen transport over regional scales: Common ragweed and Szeged, Hungary as a test case. *Agric. For. Meteorol.* 2016; 221:94–110.
14. Van de Water PK, Levetin E. Contribution of upwind pollen sources to the characterization of *Juniperus ashei* phenology. *Grana* 2001; 40:133–41.
15. Hjelmroos M. Evidence of long-distance transport of *Betula* pollen. *Grana* 1991; 30: 215–28.
16. Romero O, Dupont LM, Wyputta U, et ál. Temporal variability of fluxes of eolian-transported freshwater diatoms, phytoliths, and pollen grains off Cape Blanc as reflection of land-atmosphere-ocean interactions in northwest Africa. *J. Geophys. Res.* 2003; 108:3153.
17. Smith M, Skjøth CA, Myszkowska D, et ál. Long-range transport of *Ambrosia* pollen to Poland. *Agric. For. Meteorol.* 2008; 148:1402–11.
18. Hernandez-Ceballos MA, Soares J, García-Mozo H, et ál. Analysis of atmospheric dispersion of olive pollen in southern Spain using SILAM and HYSPLIT models. *Aerobiologia* 2014; 30:239–55.
19. Fernández-Llamazares A, Belmonte J, Alarcón M, López-Pacheco M. *Ambrosia* pollen type: a new allergen in the Spanish atmospheric spectrum. *Polen* 2012; 21:39–43.
20. Moreno-Grau S, Aira MJ, Elvira-Rendueles B, et ál. Assessment of the *Olea* pollen and its major allergen Ole e 1 concentrations in the bioaerosol of two biogeographical areas. *Atmos. Environ.* 2016; 145:264–71.
21. Borge R, Lumbreras J, Vardoulakis S et ál. Analysis of long-range transport influences on urban PM10 using two-stage atmospheric trajectory clusters. *Atmos. Environ.* 2007; 41:4434–50.
22. Zemmer F, Karaca F, Ozkaragoz F. Ragweed pollen observed in Turkey: Detection of sources using back trajectory models. *Sci. Total Environ.* 2012; 430:101–8.
23. Robayo-Avenidaño A, Galindo-Mendoza MG. Analysis of dispersal probability of genetically modified maize pollen using the HYSPLIT model. *Agrociencia* 2014; 48: 511–23.
24. Dai L, Weng CY. A survey on pollen dispersal in the western Pacific Ocean and its paleoclimatological significance as a proxy for variation of the Asian winter monsoon. *Sci. China Earth Sci.* 2011; 54:249–58.
25. Rousseau DD, Schevin P, Duzer D, et ál. New evidence of long distance pollen transport to southern Greenland in late spring. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2006; 141:277–86.
26. Saar M, Gudžinskas Z, Ploompuu T, et ál. Ragweed plants and airborne pollen in the Baltic states. *Aerobiologia* 2000; 16:101–6.
27. Stach A, Smith M, Skjøth CA, Brandt J. Examining *Ambrosia* pollen episodes at Poznań (Poland) using back-trajectory analysis. *Int. J. Biometeorol.* 2007; 51:275–86.
28. Sofiev M, Siljamo P, Ranta H, Rantio-Lehtimäki A. Towards numerical forecasting of long-range air transport of birch pollen: Theoretical considerations and a feasibility study. *Int. J. Biometeorol.* 2006; 50:392–402.
29. Skjøth CA, Sommer J, Stach A, et ál. The long-range transport of birch (*Betula*) pollen from Poland and Germany causes significant pre-season concentrations in Denmark. *Clin. Exp. Allergy* 2007; 37:1204–12.
30. Veriankaite L, Siljamo P, Sofiev M, et ál. Modelling analysis of source regions of long-range transported birch pollen that influences allergenic seasons in Lithuania. *Aerobiologia* 2010; 26:47–62.
31. Van De Water PK, Keever T, Main CE, Levetin E. An assessment of predictive forecasting of *Juniperus ashei* pollen movement in the Southern Great Plains, USA. *Int. J. Biometeorol.* 2003; 48:74–82.
32. Maya-Manzano JM, Fernández-Rodríguez S, Smith M, et ál. Airborne *Quercus* pollen in SW Spain: Identifying favourable conditions for atmospheric transport and potential source areas. *Sci. Total Environ.* 2016; 571:1037–47.
33. Sadyś M, Kennedy R, Skjøth CA. An analysis of local wind and air mass directions and their impact on *Cladosporium* distribution using HYSPLIT and circular statistics. *Fungal Ecol.* 2015; 18:56–66.
34. Sadyś M, Skjøth CA, Kennedy R. Back-trajectories show export of airborne fungal spores (*Ganoderma* sp.) from forests to agricultural and urban areas in England. *Atmos. Environ.* 2014; 84:88–99.
35. Urbano R, Palenik B, Gaston CJ, Prather KA. Detection and phylogenetic analysis of coastal bioaerosols using culture dependent and independent techniques. *Biogeosciences* 2011; 8:301–9.
36. Lander TA, Klein EK, Oddou-Muratario S, et ál. Reconstruction of a windborne insect invasion using a particle dispersal model, historical wind data, and Bayesian analysis of genetic data. *Ecol. Evol.* 2014; 4:4609–25.