

P-13

Implementación de nuevas tecnologías en la aerobiología: estado actual y perspectivas futuras

Antonio Picornell Rodríguez

Departamento de Botánica y Fisiología Vegetal. Universidad de Málaga.

Investigador Postdoctoral PAIDI 2020 financiado por la Consejería de Transformación Económica, Industria, Conocimiento y Universidades.

Junta de Andalucía.

picornell@uma.es

La aerobiología se centra en el estudio de las partículas de origen biótico presentes en la atmósfera lo que habitualmente concierne al polen y esporas fúngicas¹. Algunas de estas partículas, como el polen, son indicadores fiables del estado de conservación y actividad reproductiva de la vegetación y tienen un gran interés para la conservación del medio natural². Además, el monitoreo de las concentraciones de polen también es muy relevante para la salud pública. El polen desencadena síntomas alérgicos en personas sensibles, agrava algunos síntomas del asma e incrementa la frecuencia de aparición de infecciones respiratorias^{3,4}. Como consecuencia, la presencia de polen potencialmente alergénico en la atmósfera disminuye la calidad de vida de un porcentaje notable de la población, incrementa el gasto en salud pública y reduce la productividad laboral, con unas pérdidas anuales estimadas de entre 50 y 150 billones de euros en Europa⁵. Por todo ello, no es de extrañar que la aerobiología se encuentre en auge desde hace unas décadas, con un mayor esfuerzo científico centrado en el monitoreo del polen y en la elaboración de modelos que permitan estimar la distribución y tendencias de las concentraciones atmosféricas de polen⁶.

Las nuevas tecnologías están arraigando en todas las disciplinas científicas, incluida la aerobiología. El uso de algoritmos de aprendizaje automático (*machine learning*), el uso de lenguajes de programación para la gestión de grandes bases de datos (*big data*), los aparatos de muestreo automatizado y la información generada por satélite ha contribuido a un avance significativo de la aerobiología en los últimos años. Estas tecnologías agilizan la recogida y procesamiento de datos, así como otorgan una mayor precisión y fiabilidad a los pronósticos de las concentraciones de polen que se utilizan para informar a la población⁷. Esta conferencia pretende analizar el estado actual de la implementación de nuevas tecnologías en la aerobiología, así como vislumbrar tendencias para los próximos años.

Una de las principales limitaciones actuales en la aerobiología es el enorme coste económico y el elevado esfuerzo que requiere la recogida y procesamiento de muestras. Dependiendo de la época del año, procesar

las muestras aerobiológicas de una única semana en un punto de muestreo puede llevar más de 30 horas para una persona entrenada. Además, para poder identificar el polen que contiene cada muestra, es necesario que esa persona haya recibido una formación y entrenamiento de, al menos, 3 meses y que esté supervisada por otra persona con mayor experiencia. Para desempeñar un trabajo completamente autónomo se requieren varios años de experiencia. Este coste humano normalmente lo asumen las/os investigadoras sin una financiación específica para ello y compatibilizándolo con otras tareas docentes e investigadoras. Debido a estas limitaciones, la capacidad de muestreo que puede asumir un grupo de investigación es bastante limitada, lo que obliga a que los muestreos aerobiológicos habitualmente se reduzcan a uno o dos puntos de muestreo por grupo de investigación. Sin embargo, las concentraciones de polen están altamente influenciadas por los usos de suelo y la vegetación circundante en cada punto de muestreo, lo que inevitablemente hace que varíen de forma sustancial en distintas localidades e incluso dentro de una misma ciudad⁸. Además, las muestras recogidas requieren un procesamiento y conteo al microscopio óptico que usualmente demora una semana. La demanda de información polínica por parte de la sociedad es creciente y, ante ella, se hace necesaria la implementación de nuevos equipos que permitan monitorear las concentraciones de polen de forma automatizada y a tiempo real⁹.

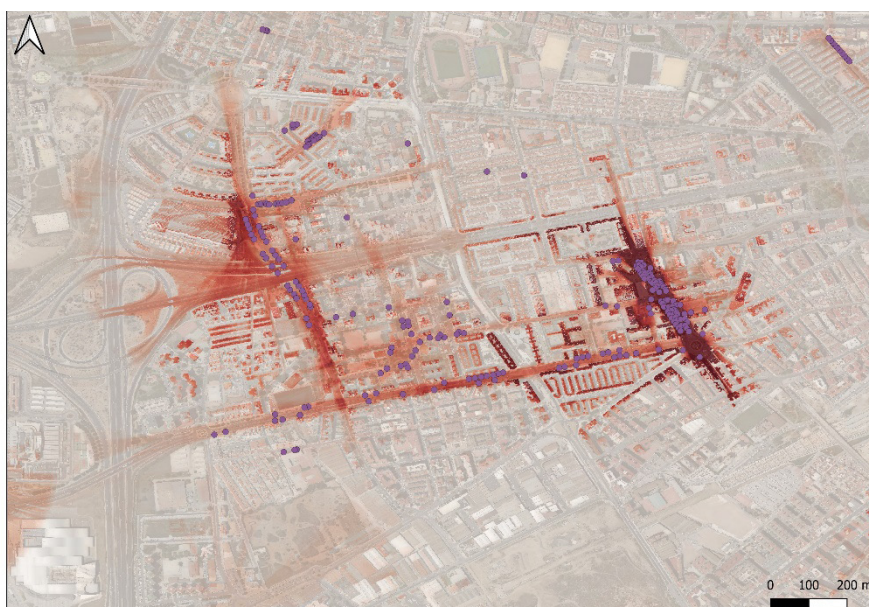
En la última década se han desarrollado equipos muestreadores de polen automatizados basados en microscopía digital y reconocimiento de imágenes (por ejemplo: Helmut-Hund BAA500 o PollenSense APS), en citometría de flujo combinada con fluorescencia y holografía digital (por ejemplo: Swisens Poleno) o en espectroscopía de laser fluorescente (por ejemplo: Plair Rapid-E, Yamatronics KH-3000 o Flir IBAC-2). Algunos de estos equipos, tras ser calibrados, han probado tasas de eficacia comparables a los muestreos tradicionales para ciertos tipos polínicos. También, algunos aparatos pueden proveer datos a tiempo real a través de internet, lo que resulta de gran utilidad para informar a la población alérgica con un retraso de tan solo 3 horas^{7,10}. Sin embargo, todavía hay margen de mejora, y muchos

de estos estudios están centrados en tipos polínicos centroeuropeos. Además, el coste de los equipos suele sobrepasar con creces el anual salario de una persona y requiere de un servicio de mantenimiento y/o suscripción anual, lo que deja irresoluto el problema de limitación económica de muchos grupos de investigación. La aparición de diversas compañías desarrolladoras de estas tecnologías está aumentando la oferta de aparatos, lo que tiende a reducir los precios e impulsa el desarrollo de aparatos de bajo coste. Esto podría favorecer que los equipos automatizados vayan reduciendo su coste progresivamente durante los próximos años y se extienda su uso, redundando en beneficios para la salud pública.

Como alternativa a incrementar el número de puntos de muestreo, algunos grupos de investigación centran sus esfuerzos en maximizar la información que se obtiene de cada punto con datos complementarios, como datos satelitales. Recientemente, los datos basados en

imágenes de satélite han aumentado su disponibilidad en acceso abierto con programas como Copernicus (Unión Europea) o los propios de la NASA (EEUU). Esto ha favorecido el uso de índices de vegetación como complemento para monitorear la floración y actividad vegetativa de las plantas¹¹ y, por consecuencia, para monitorear las concentraciones de polen¹². También el uso de tecnologías LiDAR se ha utilizado para modelar la dispersión de polen dentro de las ciudades (figura 1) y elaborar mapas que permiten determinar aquellas áreas urbanas con mayores concentraciones potenciales de polen^{13,14}. Los modelos basados en información de satélite requieren ser validados con muestreos aerobiológicos tradicionales, pero, una vez validados, incrementan el alcance, resolución y aplicabilidad de la información polínica. Así mismo, el uso de métodos de interpolación espacial y de usos de suelo, ha permitido mantener información sobre concentraciones polínicas en puntos no muestreados¹⁵.

Figura 1. Ejemplo de mapa de riesgo de polen de tipo *Platanus* en un barrio de la ciudad Málaga. Los puntos representan los árboles de *Platanus x hispanica* Mill. ex Münchh. Inventariados y el color rojo intenso indica un mayor riesgo de alergia. Elaborado a partir de datos LiDAR de la segunda cobertura del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea¹⁶ y ortofotografías de la Diputación de Málaga¹⁷



Otro de los desafíos que tiene que afrontar la aerobiología en la actualidad es la elaboración de modelos de pronóstico que permitan estimar cómo van a verse afectadas las concentraciones atmosféricas de polen bajo los distintos escenarios del cambio climático. El cambio climático ya está produciendo cambios notorios en la floración y distribución de las plantas, lo que inevitablemente altera las concentraciones de polen detectadas^{18,19}. Como resultado, se prevén cambios en la intensidad y temporalidad de alergias respiratorias²⁰⁻²². En algunos casos implicará cambiar la estacionalidad de la toma de antihistamínicos y, en otros, la duración de

los tratamientos. Para poder reducir las consecuencias de estos cambios, es necesario disponer de sistemas de alerta temprana, que en la mayoría de los casos permite reducir en un 95 % los perjuicios económicos causados por la polinosis⁵. En los últimos años se han desarrollado una gran variedad de modelos que pueden englobarse en dos tipos: modelos mecanicistas y modelos basados en aprendizaje. Los modelos mecanicistas se basan en modelar procesos biológicos de forma precisa a partir del conocimiento teórico de dichos procesos. Es decir, modelan procesos naturales conocidos. Entre ellos destacan modelos como el UniChill desarrollado por

Chuine²³ o el recientemente desarrollado PhenoFlex²⁴ y son una alternativa fiable para modelar algunos tipos polínicos de especies arbóreas en climas templados^{19,21}. Por el contrario, los modelos basados en aprendizaje se basan en combinar distintas variables relacionadas con las concentraciones de polen de forma pseudoaleatoria intentando maximizar el ajuste de las predicciones a un set de datos de entrenamiento. Entre ellos destacan los modelos *random forest* y derivados, las redes neuronales simples o las redes neuronales recurrentes. Estos modelos suelen denominarse «de caja negra» por tener una estructura compleja de la que es difícil extraer el sentido biológico de cada interacción entre variables. Sin embargo, también han demostrado una gran precisión a la hora de estimar las concentraciones de polen a corto y largo plazo²⁵⁻²⁸. Tanto los modelos mecanicistas como los basados en aprendizaje están siendo utilizados para estimar los efectos futuros del cambio climático sobre la vegetación y las alergias polínicas con resultados bastante prometedores. Todo apunta a que en los próximos años las colaboraciones entre profesionales de la aerobiología y de las ciencias de computación serán cada vez más frecuentes.

REFERENCIAS

- Mandrioli P, Ariatti A. (2001). Aerobiology: Future course of action. *Aerobiologia*, 17(1), 1-10. <https://doi.org/10.1023/A:1007602928928>.
- Rojo J, Oteros J, Picornell A, Maya-Manzano JM, Damialis A, Zink K, Werchan M, Werchan B, Smith M, Menzel A, Timpf S, Traidl-Hoffmann C, Bergmann KC, Schmidt-Weber CB, Buters J. (2021). Effects of future climate change on birch abundance and their pollen load. *Global Change Biology*, 27, 5934-49. <https://doi.org/10.1111/GCB.15824>.
- Damialis A, Gilles S, Sofiev M, Sofieva V, Kolek F, Bayr D, Plaza, MP, Leier-Wirtz V, Kaschuba S, Ziska LH, Bielory L, Makra L, Trigo, MM. COVID-19/POLLEN study group, & Traidl-Hoffmann, C. (2021). Higher airborne pollen concentrations correlated with increased SARS-CoV-2 infection rates, as evidenced from 31 countries across the globe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(12), e2019034118. <https://doi.org/10.1073/pnas.2019034118>.
- Gilles S, Blume C, Wimmer M, Damialis A, Meulenbroek L, Gökkaya M, Bergougnan C, Eisenbart S, Sundell N, Lindh M, Andersson LM, Dahl Å, Chaker A, Kolek F, Wagner S, Neumann AU, Akdis CA, Garsen J, Westin J, Traidl-Hoffmann, C. (2020). Pollen exposure weakens innate defense against respiratory viruses. *Allergy*, 75(3), 576-87. <https://doi.org/10.1111/ALL.14047>.
- Zuberbier T, Lötvall J, Simoons S, Subramanian SV, Church MK. (2014). Economic burden of inadequate management of allergic diseases in the European Union: a GA2LEN review. *Allergy*, 69(10), 1275-9. <https://doi.org/10.1111/ALL.12470>.
- Beggs PJ, Šikoparija B, Smith M. (2017). Aerobiology in the International Journal of Biometeorology, 1957-2017. *International Journal of Biometeorology*, 61, 51-8. <https://doi.org/10.1007/s00484-017-1374-5>.
- Buters J, Clot B, Galán C, Gehrig R, Gilge S, Hentges F, O'Connor D, Sikoparija B, Skjoth C, Tummon F, Adams-Groom B, Antunes CM, Bruffaerts N, Çelenk S, Crouzy B, Guillaud G, Hajkova L, Seliger AK, Oliver G, Stjepanovic B. (2022). Automatic detection of airborne pollen: an overview. *Aerobiologia*, 1-25. <https://doi.org/10.1007/S10453-022-09750-X/TABLES/2>.
- Charalampopoulos A, Damialis A, Lazarina M, Halley JM, Vokou D. (2021). Spatiotemporal assessment of airborne pollen in the urban environment: The pollenscape of Thessaloniki as a case study. *Atmospheric Environment*, 247, 118185. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOENV.2021.118185>.
- Oteros J, Pusch G, Weichenmeier I, Heimann U, Möller R, Röseler S, Traidl-Hoffmann C, Schmidt-Weber C, Buters JTMM. (2015). Automatic and Online Pollen Monitoring. *International Archives of Allergy and Immunology*, 167(3), 158-66. <https://doi.org/10.1159/000436968>.
- Maya-Manzano JM, Tummon F, Abt R, Allan N, Bunderson L, Clot B, Crouzy B, Daunys G, Erb S, Gonzalez-Alonso M, Graf E, Grewling Ł, Haus J, Kadantsev E, Kawashima S, Martinez-Bracero M, Matavulj P, Mills S, Niederberger E, Buters J. (2023). Towards European automatic bioaerosol monitoring: Comparison of 9 automatic pollen observational instruments with classic Hirst-type traps. *Science of the Total Environment*, 866. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161220>.
- Bellini E, Moriondo M, Dibari C, Leolini L, Staglianò N, Stendardi L, Filippa G, Galvagno M, Argenti G. (2023). Impacts of Climate Change on European Grassland Phenology: A 20-Year Analysis of MODIS Satellite Data. *Remote Sensing*, 15, 218. <https://doi.org/10.3390/rs15010218>.
- Devadas R, Huete AR, Vicendese D, Erbas B, Beggs PJ, Medek, D, Haberle SG, Newnham RM, Johnston FH, Jaggard AK, Campbell, B, Burton PK, Katelaris CH, Newbigin E, Thibaudon M, Davies JM. (2018). *Dynamic ecological observations from satellites inform aerobiology of allergenic grass pollen*. 633, 441-51.
- Pecero-Casimiro R, Fernández-Rodríguez S, Tormo-Molina R, Silva-Palacios I, Gonzalo-Garijo Á, Monroy-Colín A, Coloma JF, Maya-Manzano JM. (2020). Producing Urban Aerobiological Risk Map for Cupressaceae Family in the SW Iberian Peninsula from LiDAR Technology. *Remote Sensing*, 12(10), 1562. <https://doi.org/10.3390/RS12101562>.
- Pecero-Casimiro R, Fernández-Rodríguez S, Tormo-Molina R, Monroy-Colín A, Silva-Palacios I, Cortés-Pérez JP, Gonzalo-Garijo Á, & Maya-Manzano JM. (2019). Urban aerobiological risk mapping of ornamental trees using a new index based on LiDAR and Kriging: A case study of plane trees. *Science of The Total Environment*, 693, 133576. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2019.07.382>.
- Picornell A, Oteros J, Trigo MMM, Gharbi D, Docampo S, Melgar M, Toro FJJ, García-Sánchez J, Ruiz-Mata R, Cabezudo B, Recio M. (2019). Increasing resolution of airborne pollen forecasting at a discrete sampled area in the southwest Mediterranean Basin. *Chemosphere*, 234, 668-81. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.06.019>.
- Plan Nacional de Ortofotografía Aérea. (2024). *Portal web de geodescargas. Segunda cobertura LiDAR*. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LIDA2>. <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/busquedaSerie.do?codSerie=LIDA2>.
- Diputación de Málaga. (2024). *Geoportal Diputación de Málaga. Servicio WMTS Ortofotos Año 2012-Escala 1000*. https://preidemap.malaga.es/servicioswms.php?tipo=ortofotos_wmts#ancla_desplaz. https://preidemap.malaga.es/servicioswms.php?tipo=ortofotos_wmts#ancla_desplaz.
- Menzel A, Yuan Y, Matiu M, Sparks T, Scheifinger H, Gehrig R, Estrella N. (2020). Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*, 26(4), 2599-2612. <https://doi.org/10.1111/GCB.15000>.

19. Picornell A, Maya-Manzano JM, Fernández-Ramos M, Hidalgo-Barquero JJ, Pecero-Casimiro R, Ruiz-Mata R, de Gálvez-Montañez E, del Mar Trigo M, Recio M, Fernández-Rodríguez S. (2024). Effects of climate change on *Platanus* flowering in Western Mediterranean cities: Current trends and future projections. *Science of The Total Environment*, 906. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.167800>.
20. Picornell A, Smith M, Rojo, J. (2023). Climate change related phenological decoupling in species belonging to the Betulaceae family. *International Journal of Biometeorology*, 67, 195-209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s00484-022-02398-9>.
21. Picornell A, Abreu I, Ribeiro H. (2023). Trends and future projections of *Olea* flowering in the western Mediterranean: The example of the Alentejo region (Portugal). *Agricultural and Forest Meteorology*, 339, 109559. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2023.109559>.
22. Rojo J, Picornell A, Oteros J, Werchan M, Werchan B, Bergmann, KC, Smith M, Weichenmeier I, Schmidt-Weber CB, Buters J. (2021). Consequences of climate change on airborne pollen in Bavaria, Central Europe. *Regional Environmental Change*, 21(1), 9. <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01729-z>.
23. Chuine I. (2000). A unified model for budburst of trees. *Journal of Theoretical Biology*, 207(3), 337-47. <https://doi.org/10.1006/jtbi.2000.2178>.
24. Luedeling E, Schiffers K, Fohrmann T, Urbach, C. (2021). PhenoFlex - an integrated model to predict spring phenology in temperate fruit trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 307, 108491. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2021.108491>.
25. Maya-Manzano JM, Smith M, Markey E, Hourihane Clancy J, Sodeau J, O'Connor DJ. (2021). Recent developments in monitoring and modelling airborne pollen, a review. *Grana*, 60(1), 1-19. <https://doi.org/10.1080/00173134.2020.1769176>.
26. Valencia JA, Astray G, Fernández-González M, Aira MJ, Rodríguez-Rajo FJ. (2019). Assessment of neural networks and time series analysis to forecast airborne *Parietaria* pollen presence in the Atlantic coastal regions. *International Journal of Biometeorology*, 63(6), 735-45. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01688-z>.
27. Picornell A, Ruiz-Mata R, Rojo J, Oteros J, Recio M, de Gálvez-Montañez E, Trigo MM. (2023). Applying wind patterns and land use to estimate the concentrations of airborne pollen of herbaceous taxa in a statistical framework. *Urban Climate*, 49, 101496. <https://doi.org/10.1016/J.UCLIM.2023.101496>.
28. Picornell A, Hurtado S, Antequera-Gómez ML, Barba-González C, Ruiz-Mata R, de Gálvez-Montañez E, Recio M, Trigo MM, Aldana-Montes JF, Navas-Delgado I. (2024). A deep learning LSTM-based approach for forecasting annual pollen curves: *Olea* and *Urticaceae* pollen types as a case study. *Computers in Biology and Medicine*, 168, 107706. <https://doi.org/10.1016/J.COMPBIOMED.2023.107706>.