

Contaminación del aire y su efecto en plantas y suelo, descontaminación y restauración

Juan F. Gallardo Lancho

La contaminación atmosférica es uno de los temas recurrentes en los medios de comunicación sociales. Las grandes ciudades están afectadas por dicha contaminación, siendo de intensidad gravísima en cuencas cerradas con inversión térmica. Ciudades iberoamericanas como Madrid, México D.F. o Santiago de Chile son paradigmáticas por sus altas contaminaciones atmosféricas.

Sin embargo, es menos conocido (o sólo reducido a los ámbitos científicos) el efecto que pudiera tener la contaminación atmosférica sobre suelos y plantas. Ese interés ha decrecido en los países industriales desde que las normativas ambientales obligaron a implementar medidas para la reducción de las emisiones industriales y un rígido control las mismas, con registros automáticos.

Como consecuencia las lluvias ácidas europeas y norteamericanas son anécdotas del pasado, así como las fertilizaciones extras (nitrogenadas y/o azufradas) de amplias áreas internacionales. Es paradigmático las nuevas carencias de S en Alemania. Otro ejemplo, en Galicia (España) se encuentra que el Pb de sus turberas se corresponden cronológicamente con las actividades mineras.

La contaminación atmosférica puede actuar sobre la vegetación (perennifolias) y/o sobre el suelo (degradación química del suelo). Ello obliga a distinguir netamente los procesos que afectan al suelo de los que afectan a las plantas (coníferas). Unas veces los efectos de la contaminación atmosférica son demasiado evidentes, otras no tanto. Por ejemplo, los huertos orgánicos de los alrededores del Gran Buenos Aires, Distrito Federal de Méjico o del valle del Santiago de Chile suelen estar contaminados, pues la contaminación por N y metales pesados no se ve necesariamente (pero se digiere...).

La contaminación atmosférica puede proceder de vulcanismo, como es usual en los cinturones de Eje volcánico mejicano o el cinturón andino. Estos procesos de contaminación atmosférica de origen volcánicos son recurrentes en la R. Argentina. A veces estos fenómenos fueron pretéritos, escapan al paisaje, pero se vuelven activos cada vez que las erosión deja al descubierto los paquetes de cineritas que pueden redistribuirse incluso atmosféricamente. El problema de las contaminaciones volcánicas

es que son poco conocidas, salvos algunos volcanes europeos o norteamericanos (muy estudiados).

Si la contaminación aérea es una constante tanto en la Naturaleza como en los países desarrollados y se incrementa en los que se acercan al desarrollo: ¿Cuáles son las consecuencias sobre los ecosistemas?

La contaminación atmosférica sigue un curso finalmente descendente a causa de las lluvias. Para establecer los impactos sobre el suelo (distinguiéndolos de los efectos directos sobre las plantas) hay que conocer los ciclos de elementos más importantes o nocivos y hacer un seguimiento de la evolución de estos o, bien, hacer un balance del sistema completo. El suelo puede actuar de depurador ambiental a veces sin contaminarse apreciablemente; entonces la medida de salidas del sistema puede ser un indicador de la eficacia depuradora del suelo.

El objetivo de esta comunicación es mostrar, basados en casos investigados, el camino que sigue la contaminación aérea sobre el subsistema suelo y, en su caso, sobre la vegetación y las aguas circulantes (si las hubiere). Se realiza también una aproximación metodológica para el estudio del problema. Para ilustrarlo, se indican un caso estudiado (real) por nuestro propio equipo de investigación (parcela forestal de Navasfrías, Oeste de España, fronteriza a Portugal). Se muestra, el camino que sigue la contaminación aérea sobre el subsistema suelo y, en su caso, sobre la vegetación y las aguas circulantes.

Para ello se expone una aproximación metodológica para el estudio del problema. Los datos mostrados son resultado de estudios propios.

La contaminación atmosférica forma parte de los flujos de los ciclos biogeoquímicos. Se pueden distinguir entre emisiones naturales (volcanes, suelos, humedales, pantanos, rumiantes, termitas, *etc.*) y de origen industrial. Igualmente pueden considerarse gases, aerosoles (suspensiones) y partículas suspendidas (las conocidas PM₁₀, PM_{2,5} y PM_{0,1}, valores de diámetro en micras). Por otra parte, también pueden considerarse primarias y secundarias (en general, productos resultantes de la oxidación atmosférica). El principal vector hacia el suelo de los elementos que conlleva la contaminación atmosférica son las aguas atmosféricas.

En sistemas oligotróficos la cantidad de bioelementos retenidos por el sistema es muy bajo, por lo que la entrada de nuevos elementos permite la adsorción de los que se van

llegando con las aguas, mientras que en los sistemas eutróficos, en cambio, se produce un intercambio en el sistema entre los que está retenidos y los que vienen llegando, a un ritmo que depende de la cantidad contaminante que llega y del vector hídrico. Por tanto, las condiciones climáticas y humedad edáfica (que oscilan desde sistemas exudativos a percolativos) con cruciales en la efectividad de las interacciones contaminante-suelo. Esto exige un modelo de interacción (porciones y desorciones) en los primeros cm edáficos.

La parcela forestal estudiada se ubica en el Centro-Oeste de España). El material es Paleozoico, principalmente granitos, esquistos y grauwacas. El área tiene un clima Mediterráneo, subhúmedo, templado. La pluviometría anual media: 1580 mm a⁻¹, con una variabilidad anual acusada¹, siendo generalmente el otoño la estación más lluviosa y que marca que haya exportación hídrica (arroyo).. Los suelos dominantes son *Cambisoles* dístricos y *Umbrisoles cámbicos*, con inclusiones de *Leptosoles*; esto es, ácidos y ricos en MOS, de profundidad variable. Es un bosque caducifolio de roble rebollo (*Quercus pyrenaica*), especie marcescente y acidófila; en los claros, como substrato arbustivo, aparecen especies de los géneros *Pteridium*, *Cytisus*, *Calluna*, etc.

Se colocaron lisímetros de diferentes formas para atrapar los polvos atmosféricos, el agua de lluvia directa o el agua que atraviesa el dosel arbóreo (agua transcolada). La escorrentía es esporádica es igualmente variable, generalmente con valores inferiores a 5 mm a⁻¹, es decir, prácticamente despreciable. Igualmente se construyó una presa para conocer las salidas de la microcuenca. El arroyo de evacuación de la cuenca es intermitente y empieza a funcionar tras una lluvia acumulada (otoñal e invernal) superior a los 1000 de lluvia; es decir, equivale a indicar que el arroyo evacua agua los años que se superan los 1200 mm a⁻¹ de agua, siendo más activo cuanto más alta es la pluviometría anual. La calidad del agua es tanto mayor cuanto mayor es el agua evacuada (efecto de dilución).

Se colocaron diferentes lisímetros a diferentes profundidades del suelo (incluida escorrentía superficial), determinando el flujo de aguas en la parcela y cuenca. Ase encontraron relaciones entre precipitación, ETR y drenaje profundo edáfico, existiendo una correspondencia temporal entre lluvia y humedad edáfica. Se monitoreó la evolución de la calida de agua de lluvia tras periodos secos (influencia de los polvos atmosféricos) en función de la cantidad acumulada de lluvia (mm) después de cada

periodo seco (verano). Ello determina periodos de adsorción y periodos de lixiviación. Como consecuencia, se producen pulsos de calidad de agua de lluvia que, a su vez, determinan la calidad del agua del arroyo (cuando el suelo se satura de agua)

Es claro el papel purificador del suelo de Navasfrías en años normales (no excesiva agua acumulada), dado que se producen absorciones de cationes, eliminando acidez (exceso de Al^{3+} , ácido silícico y, a veces incluso Mn^{2+}). Sólo cuando hay exceso de lluvias (régimen fuertemente percolativo) las adsorciones no son eficaces y las aguas del arroyo denotan las adsorciones incompletas (pulsos). Por tanto, en general el ecosistema (Navasfrías) funciona como un sistema absorbente de bases, resultando las aguas drenadas más limpias que las que entraron (lluvia).

En este juego de adsorciones y desorciones la materia orgánica del suelo (cantidad y calidad) juega un papel fundamental (coloides): De ahí su importancia y su conocimiento previo. Lo mismo hay que indicar si abundan coloides inorgánicos (sesquióxidos y/o arcillas).

Algunas CONCLUSIONES del trabajo son: a) Las contaminaciones atmosféricas pueden ser de muy diverso origen y naturaleza; b) Las aguas de lluvia suelen ser los vectores de tales contaminaciones atmosféricas hacia el suelo; c) Hay que saber distinguir entre daños directos a las plantas (perennifolias) e indirectos por degradación edáfica; d) El suelo funciona mayormente como un sistema depurador y tamponado; y e) No siempre una contaminación atmosférica tiene efectos negativos sobre el suelo. Esto es, es necesario estudiar cada caso.

Publicaciones del autor que versan sobre la temática:

González M.I., J.A. Egidio y J.F. Gallardo. 2013. "Effect of vineyard management on the soil quality, 'Vino de Toro' district, Western Spain". En: Santamarta-Cerezal J.C. y L.E. Hernández-Gutiérrez. (edt.). *Environmental security, Geological hazards & Management*. Universidad de La Laguna, Tenerife (Spain). Pp.: 163-167. I.S.B.N.: 978-84-616-2005-0.

Gallardo Lancho J.F. (edt.). 2011. "*Las plantas herbáceas del Oeste español según César Fuentes*". Editorial S.i.F.yQ.A., Salamanca. I.S.B.N.: 978-84-937437-3-4. 300 pp.

- Gallardo Lancho J.F. (Coord.). 2011. “*Materia orgánica edáfica y captura de carbono en sistemas iberoamericanos*”. F. García Oliva, M.B. Turrión, G.C. Díaz Trujillo y E. Madejón (edts.). Editorial S.i.F.yQ.A., Salamanca. *I.S.B.N.*: 978-84-937437-2-7. 300 pp.
- LEÓN PELÁEZ J.D.; M.I. GONZÁLEZ y J.F. GALLARDO. 2010. Distribución del agua lluvia en tres bosques Altoandinos de la Cordillera Central de Antioquia (Colombia). *Rev. Fac. Nnal. Agr. (Medellín, Colombia)*, 63: 5319-5336.
- GALLARDO LANCHO J.F. (Coord.). 2010. “*Contaminación, Descontaminación y Restauración en Iberoamérica*”. J.L. Fernández Turiel y M.I. González (edts.). Editorial S.i.F.yQ.A., Salamanca. *I.S.B.N.*: 978-84-937437-1-0. 248 pp.
- SIONE W., P. ACEÑOLAZA, L.P. ZAMBONI, H.F. del VALLE, M.C. SERAFINI y J.F. GALLARDO. 2009. Aplicación de la teledetección en la estimación de las emisiones extraordinarias de CO₂ por quemas de áreas insulares en el complejo litoral de Río Paraná (R. Argentina). En: J.F. GALLARDO (Coord.) y J. Campo Alves y M.E. Conti (edts.) *Emisiones de gases con efecto invernadero en ecosistemas iberoamericanos*. S.i.F.yQ.A., Salamanca. Pp.: 255- 272. *I.S.B.N.*: 978-84-937437-0-9.
- GALLARDO LANCHO J.F. (Coord.) 2009. “*Emisiones de gases con efecto invernadero en ecosistemas iberoamericanos*”. J. Campo Alves y M.E. Conti (edts.). Editorial S.i.F.yQ.A., Salamanca. *I.S.B.N.*: 978-84-937437-0-9. 310 pp.
- BRAVO F (coordinador), J.F. GALLARDO y otros (obra colectiva): “*El papel de los bosques en la mitigación del cambio climático*”. Fundación Gas Natural, Barcelona (*I.S.B.N.*: 978-84-611-6599-5). 320 pp. (2007).
- GALLARDO LANCHO Juan F. (edt.). “*Medio Ambiente en Iberoamérica: Visión desde la Física y la Química en los albores del Siglo XXI*”. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental, Salamanca. 3 vol., xvi+434+794+740 pp. (2006). *I.S.B.N.*: 978-84-611-0352-2.
- MICHALZIK B., E. TIPPING, J. MULDER, J.F. GALLARDO LANCHO, E. MATZNER *et al.*: “Modelling the production and transport of dissolved organic Carbon in forest soils”. *Biogeochemistry*, 66:241-264 (2003).
- VICENTE ESTEBAN M^a.A., J.F. GALLARDO, G. MORENO y M^a.I. GONZALEZ: “Comparison of soil water-contents as measured with a neutron

- probe and time domain reflectometry in a Mediterranean forest ('Sierra de Gata', Central Western Spain)". *Ann. For. Sci.*, 60:185-193 (2003).
- MENENDEZ I., J.F. GALLARDO y M^a.A. VICENTE: "Functional and chemical calibrates of ceramic cup water samplers in forest soils". *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 34:1153-1175 (2003).
- MORENO MARCOS G. y J.F. GALLARDO LANCHO: "Atmospheric deposition in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests: Implications for forest nutrition". *For. Ecol. Manage.*, 171:17-29 (2002).
- MORENO MARCOS G. y J.F. GALLARDO LANCHO: "H⁺ budget in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests: Atmospheric and management-induced soil acidification?". *Plant & Soil*, 243:11-22 (2002).
- QUILCHANO C., S. HANEKLAUS, J.F. GALLARDO, E. SCHNUG y G. MORENO: "Sulphur balance in a broadleaf, non-polluted, forest ecosystem (Central-western Spain)". *For. Ecol. Manage.*, 161:205-214 (2002).
- VICENTE M^a.A., K. KARSTEIN y J.F. GALLARDO: "Evolution of DOM fraction across the different compartments of a forest ecosystem ('Sierra de Gata' mountains): Spectroscopical characterization". En: *Humic Substances in Ecosystems*, A. Zaujec, P. Bielek & S.S. Gonet (eds.), Slovak Agricultural University, Nitra (Eslovaquia). 4:147-152 (2001).
- MENENDEZ I., G. MORENO y J.F. GALLARDO: "Caracterización de aguas gravitacionales y matriciales en *Umbrisoles* forestales, Sierra de Gata, Sistema Central español". En: *Sociedade Geológica de Portugal, 'Ambientes quaternários: Intersecção entre geodinâmica, clima, biodiversidades e Homem'*, Lisboa (Portugal). 1:121-124 (2001).
- MORENO G., J.F. GALLARDO y F. BUSSOTTI: "Canopy modification of atmospheric deposition in oligotrophic *Quercus pyrenaica* forests of an unpolluted region (Central Western Spain)". *For. Ecol. Manage.*, 149:47-60 (2001).
- GALLARDO J.F., M^a.A. VICENTE y G. MORENO: "Lluvia y bosque mediterráneo". *Investigación y Ciencia*, Julio:70-76 (2000).
- GALLARDO LANCHO J.F.: "Biogeochemistry of Mediterranean forest ecosystems: A case study". En: *Soil Biochemistry*, J.M. Bollag & G. Stotzky (edt.). Marcel Dekker, New York. 10:423-460 (2000).

- GALLARDO J.F. y G. MORENO: "Modificación de la composición química del agua de lluvia en un ecosistema mediterráneo (Monte de *Quercus pyrenaica*, Navasfrías, Oeste español)". *Ecología*, 13:3-23 (1999).
- GALLARDO J.F., M^a.A. VICENTE y M^a.I. GONZALEZ: "Transfer of dissolved organic matter from the soil to a stream in a catchment located at the 'Sierra de Gata' mountains (Western Spain)". En: *Humic substances in Ecosystems*. A. Zaujec, P. Bielek & S.S. Gonet (ed.). Soil Science Conservation Research Institute, Bratislava (Slovakia). 1:167-172 (1999).
- GALLARDO LANCHO J.F., J.A. EGIDO RODRIGUEZ, M^a.I. GONZALEZ HERNANDEZ, C. QUILCHANO GONZALO, M^a.A. VICENTE ESTEBAN y F. INGELMO SANCHEZ: "Dynamics and evolution of DOC, DON, and DOP in the Navasfrías experimental forest plot during 1996/97 cycle (province of Salamanca, Central-Western Spain)". En: *PROTOS: Production and transport of organic solutes: Effects of natural climatic variation*. J. Mulder (ed.), N.I.S.K. (Oslo, Noruega). 1: 18-22 (1998).
- GALLARDO J.F., A. MARTIN, G. MORENO e I. SANTA REGINA: "Nutrient cycling in deciduous forest ecosystems of the 'Sierra de Gata' mountains: Nutrient supplies to the soil through both litter and throughfall", *Ann. Sci. For.*, 55:771-784 (1998).
- GALLARDO J.F., M^a.A. VICENTE y M^a.I. GONZALEZ: "Flujos de C, N y P disueltos en un ecosistema forestal de la Sierra de Gata (provincia de Salamanca, España)". En: *Actas del X Congreso Latinoamericano de Geología* (Buenos Aires), A. Riccardi *et al.* (ed.). Servicio Geológico y Minero Argentino, Buenos Aires (R. Argentina). 1:405-411 (1998).
- GALLARDO J.F. y M^a.A. VICENTE: "Compositional changes in incident water in a forest ecosystem of the 'Sierra de Gata' mountains (province de Salamanca, Spain) and comparison with stream-water composition". En: *Hydrology, water resources and ecology of mountain areas*. U. Tappeiner, F.V. Ruffini & M. Fumai (ed.). HeadWater/'98, European Academy Bozen, Bolzano.205-208 (1998).