

La deposición de nitrógeno en encinares Mediterráneos: cargas e indicadores

L. Aguilauame ^{1,*}

(1) CREA, Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales, Campus de Bellaterra (UAB), Edifici C. Cerdanyola del Vallès 08193, España.

* Autor de correspondencia: L. Aguilauame [l.aguilauame@crea.uab.cat]

> Recibido el 17 de febrero de 2016 - Aceptado el 10 de junio de 2016

Aguilauame, A. 2016. La deposición de nitrógeno en encinares Mediterráneos: cargas e indicadores. *Ecosistemas* 25(2): 110-113. Doi.: 10.7818/ECOS.2016.25-2.15

Introducción y objetivos

Las actividades humanas ligadas a la industrialización han incrementado las emisiones de compuestos del nitrógeno (N) a la atmósfera, lo que está alterando el ciclo natural del N. Estas emisiones comprenden compuestos oxidados (NO_x), principalmente derivados de la quema de combustibles fósiles, y reducidos (NH_3), procedentes de actividades agropecuarias. Este N antropogénico se incorpora al ciclo natural de N y acelera el intercambio entre atmósfera, hidrosfera y biosfera, provocando una cascada de efectos ambientales entre los que se incluyen la formación de O_3 , la acidificación y la eutrofización de los ecosistemas (Galloway et al. 2003).

Según una evaluación basada en 26 modelos, Europa central y los países circunmediterráneos constituyen uno de los núcleos de alta deposición de N del planeta, junto a las regiones del centro-este de Norteamérica y parte del extremo Oriente desde China hasta Japón (Dentener et al. 2006). Estudios recientes en la Península Ibérica muestran un enriquecimiento en N a nivel de planta (Peñuelas y Filella 2001) y ecosistema (Avila y Rodà 2012). A pesar de estas evidencias, existe todavía muy poca información acerca del N como contaminante en los ecosistemas Mediterráneos (Bobink et al. 2010).

La deposición total en un ecosistema resulta de la suma de la deposición húmeda y la deposición seca. Sin embargo, determinar la deposición total no es sencillo ya que existe una indeterminación metodológica en el modo de estimar la fracción seca. En ecosistemas mediterráneos (y especialmente para el N), la deposición seca constituye el flujo más importante. Uno de los métodos para estimarla es mediante el muestreo de la trascolación, el flujo de agua y elementos que se recoge debajo del bosque y que, por tanto, ha lavado e incorporado el material depositado sobre las copas. El conocimiento de la deposición seca es esencial para valorar el estado de los ecosistemas respecto a las cargas o niveles críticos (depósito o concentraciones atmosféricas por encima de las cuales aparecen daños en los ecosistemas). Son también muy escasos los estudios sobre estos umbrales críticos en bosques mediterráneos.

Los objetivos de esta Tesis Doctoral son: (1) aportar nueva información sobre los flujos de deposición de N en encinares de la península ibérica, (2) determinar si las políticas europeas de regu-

lación de emisiones han afectado a la deposición en un encinar en un entorno rural, (3) determinar el nivel crítico para el NH_3 en un encinar por medio del análisis de la diversidad de líquenes epífitos y (4) estudiar diferentes indicadores de respuesta a la contaminación puntual de NH_3 (suelos, vegetación, líquenes).

Material y métodos

Durante dos años se midió la deposición húmeda y la trascolación (así como la deposición global, flujo similar al húmedo pero que incorpora una pequeña porción de deposición seca) en tres encinares próximos a fuentes de contaminación urbana: Can Balasc a 4 km de Barcelona, Carrascal a 15 km de Pamplona y Tres Cantos a 9 km de Madrid, y en un encinar más apartado de fuentes de emisión (La Castanya, en el Montseny a 45 km NNE de Barcelona). Para determinar la deposición seca se aplicó el 'Canopy Budget Model', siguiendo las directrices del ICP-Forest Manual. Este modelo se basa en considerar el flujo neto de trascolación (la diferencia entre trascolación y deposición húmeda) como la suma de la deposición seca y el flujo producido por los intercambios biológicos en las copas y permite, mediante una serie de asunciones, distinguir entre ambos procesos (fracción seca e intercambio a nivel de copa).

Por otro lado, se han usado datos de la química de la lluvia de una serie de 30 años en el Montseny para evaluar los efectos de los programas de reducción de emisiones (SO_2 , NO_2 y NH_3) promovidos por la UN/ECE en la deposición. Los cambios temporales en la deposición seca se han obtenido mediante el uso del 'Canopy Budget Model' con datos de dos periodos de 2 años separados por un lapso de 15 años (1995-1996 y 2011-2013).

Respecto a los efectos de una fuente puntual de contaminación por NH_3 , se estableció un gradiente de puntos de muestreo respecto a una granja adyacente a un encinar en Osona (Cataluña). En este gradiente, se midió mensualmente la concentración de NH_3 atmosférico con tubos de difusión pasiva y se determinó el nivel crítico mediante regresiones entre la diversidad líquénica y el NH_3 atmosférico, distinguiendo por grupos funcionales (líquenes nitrófilos vs. oligotróficos). Por otro lado, se midieron varios parámetros en suelos, hojas y musgos muestreados a lo largo del gradiente como posibles indicadores de los efectos del exceso de NH_3 .

La importancia de la deposición seca de Nitrógeno en los bosques Mediterráneos

Nuestros resultados indicaron la influencia de la contaminación emitida en las áreas metropolitanas, el tráfico marítimo y el transporte a larga distancia en las zonas de muestreo. El sitio representativo de zonas menos contaminadas presentó similar deposición de N y S que los sitios más expuestos. La aplicación del 'Canopy Budget Model' indicó que las encinas retienen cantidades importantes de N en el dosel ($7\text{--}8\text{ kg ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ y $4\text{ kg ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ de NO_3^-N).

La deposición seca contribuyó de manera mayoritaria a la deposición total (74–84%). La deposición total fue de 17 y 20 $\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$ en las parcelas del NE peninsular (La Castanya y Can Balasc, [Tabla 1](#)). Si a estos valores se les suma la deposición por nitrógeno orgánico (DON, $3\text{ kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$; Izquierda et al. 2016), obtenemos una deposición total de 20–23 $\text{kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$. Estos valores superan las cargas críticas para los bosques perennifolios esclerófilos mediterráneos ($10\text{--}20\text{ kg N ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$) ([Bobbink y Hettelingh 2010](#)), e indican el posible inicio de efectos perjudiciales en los mismos.

Relación entre las emisiones y la deposición

Las importantes reducciones de emisiones de SO_2 en España y países vecinos se reflejaron en la reducción de S en la lluvia ([Fig. 1](#)) y deposición seca del Montseny en el lapso 1995–96 y 2011–13. Para el N, la variación es algo más compleja: las emisiones de NO_2 en España aumentaron de 1980 a 1991, se mantuvieron constantes hasta 2005 y luego disminuyeron. Las concentraciones de NO_3^- en lluvia siguieron el mismo patrón ([Fig. 1](#)). Las concentraciones de NO_3^- en lluvia dependen ($r^2=0.92$) de la precipitación del lugar, las emisiones de NO_x en Barcelona y las emisiones a escala peninsular. La DS de NO_3^-N fue más elevada en 2011–12 que 1995–96 (6.7 vs. $1.3\text{ kg ha}^{-1}\text{ año}^{-1}$), lo que se atribuyó a una mayor sequía en el periodo reciente.

El aumento de las emisiones de NH_3 en España durante los últimos 30 años no se reflejó en la variación de NH_4^+ en la lluvia del Montseny ([Fig. 1](#)). Ello puede reflejar la disminución de la formación de aerosoles de sulfato y nitrato amónico debido a la disminución de las emisiones de SO_2 y NO_x .

Tabla 1. Valores de deposición húmeda (DH), seca (DS) y total (DT) de $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ y N inorgánico total (DIN) (en $\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$) en las zonas de estudio de La Castanya, Can Balasc y Tres Cantos.

Table 1. Wet (DH), dry (DS) and total deposition (DT) of $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ and total inorganic nitrogen (DIN) ($\text{kg ha}^{-1}\text{ yr}^{-1}$) in the studied sites La Castanya, Can Balasc and Tres Cantos.

	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	DIN
La Castanya			
DH	2.4	2.0	4.4
DS	6.0	6.6	12.6
DT	8.3	8.6	16.9
Can Balasc			
DH	1.6	1.6	3.2
DS	8.8	7.6	16.4
DT	10.4	9.3	19.6
Tres Cantos			
DH	0.6	0.6	1.2
DS	0.6	1.4	2.0
DT	1.1	2.1	3.2

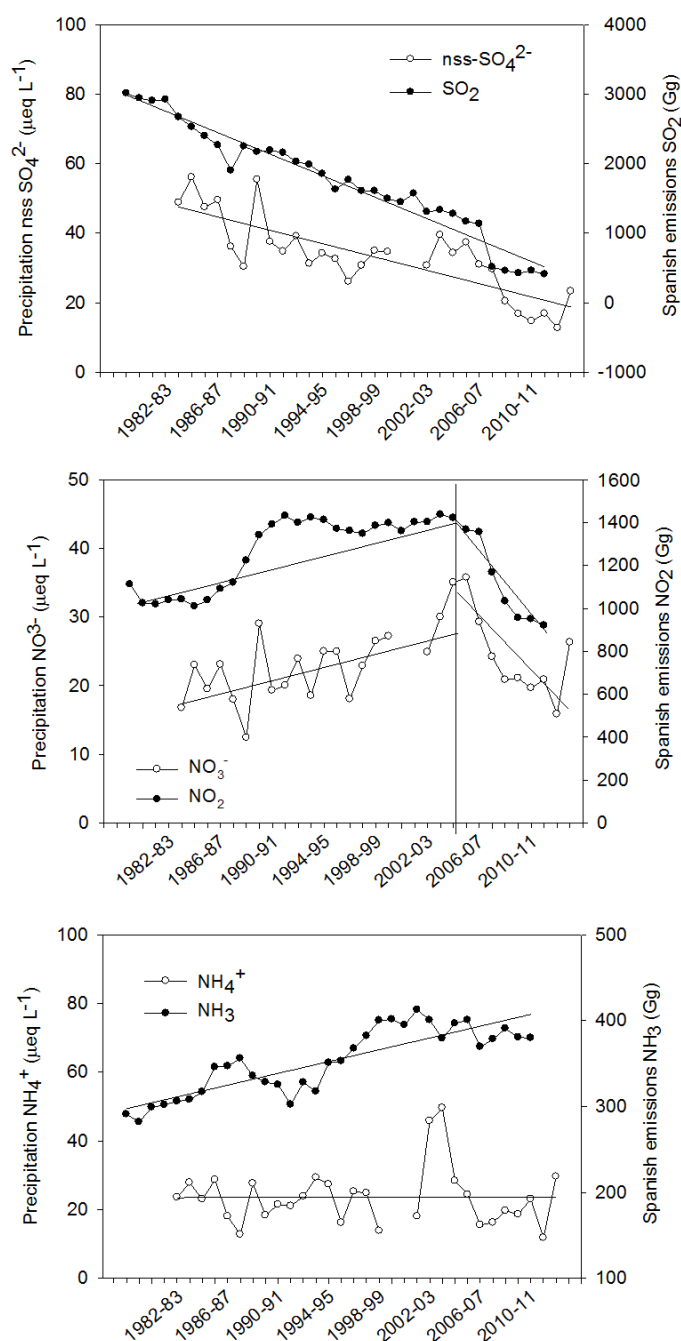


Figura 1. Evolución temporal de las emisiones en España y de las concentraciones en la lluvia de La Castanya (Montseny).

Figure 1. Temporal trends of Spanish emissions and rainfall concentrations in La Castanya (Montseny).

Herramientas para la protección de los bosques Mediterráneos

Dado que las emisiones de NH_3 siguen aumentando en España, es importante conocer mejor los niveles críticos como umbral de seguridad para proteger a las especies y ecosistemas de los efectos perniciosos del NH_3 . Nuestro trabajo aporta un dato más para los bosques Mediterráneos, muy poco estudiados hasta el momento.

Encontramos un valor crítico (CLE) de NH_3 atmosférica $<2.5\text{ mg m}^{-3}$ para este encinar mediterráneo. Estos valores están por encima de $1\text{ }\mu\text{g m}^{-3}$, el valor europeo aceptado actualmente ([Halls-worth et al. 2010](#)). Este trabajo confirma que los grupos funcionales de líquenes pueden ser utilizados para obtener los niveles críticos de muy diferentes tipos de bosques mediterráneos ([Fig. 2](#)), ya que se aplicó el mismo enfoque en dehesas portuguesas ([Pinho et al. 2011](#)).

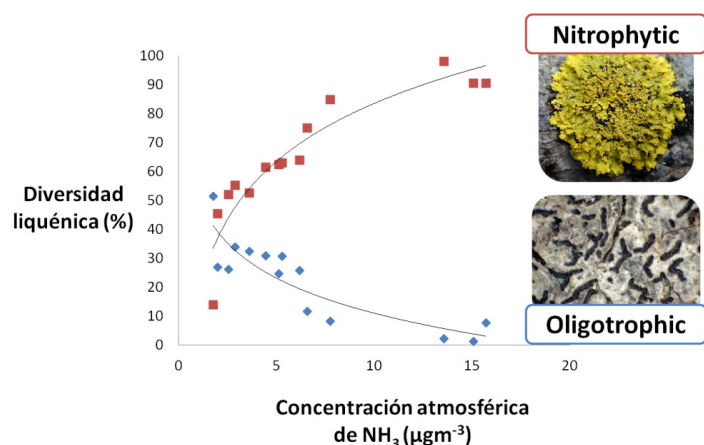


Figura 2. Respuesta de la diversidad líquénica relativa (%) de los grupos funcionales de líquenes oligotróficos y nitrófilos a lo largo del gradiente de incremento de concentraciones de NH_3 .

Figure 2. Relative lichen diversity (%) response in oligotrophic and nitrophytic functional groups of lichens along the NH_3 gradient.

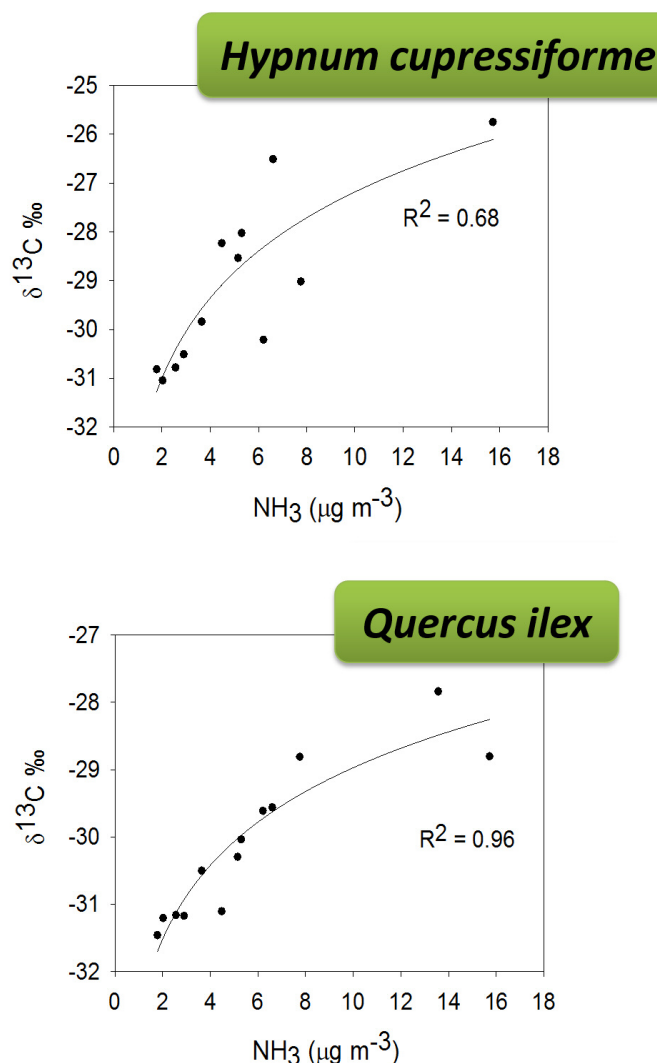


Figura 3. Respuesta del $\delta^{13}\text{C}$ en el musgo (*Hypnum cupressiforme*) y en las hojas de encina (*Quercus ilex*) a lo largo del gradiente de incremento de concentraciones de NH_3 .

Figure 3. Response of $\delta^{13}\text{C}$ in moss (*Hypnum cupressiforme*) and holm oak leaves (*Quercus ilex*) along the NH_3 gradient.

Finalmente, se ha estudiado la variación a lo largo del gradiente de NH_3 de varios parámetros (% N, $\delta^{15}\text{N}$, C: N, $\delta^{13}\text{C}$) medidos en hojas de encina, musgos y suelos, como posibles indicadores de la contaminación por NH_3 . La variación de $\delta^{15}\text{N}$ en hojas y musgos a lo largo del gradiente reflejó la señal isotópica de la fuente N. El contenido de N y $\delta^{15}\text{N}$ en musgos y hojas se correlacionó significativamente con la diversidad de líquenes nitrófilos y con las concentraciones de NH_3 atmosférico, indicando la respuesta específica de las especies nitrófilas a la contaminación por NH_3 . En el suelo, $\delta^{15}\text{N}$ y C:N se correlacionaron significativamente con las concentraciones de NH_3 . Se obtuvieron ratios C:N por debajo de 25 en todo el gradiente, indicando el riesgo de lixiviación de N y la consiguiente eutrofización de las aguas subterráneas. Por último, la variación en el contenido $\delta^{13}\text{C}$ en hojas y musgos refleja la respuesta fisiológica de la vegetación a una mayor deposición de N (Fig. 3).

Los resultados de esta tesis indican que la deposición de N total en varios sitios en España supera las cargas críticas propuestas para los bosques esclerófilos, y que dicha deposición viene en gran medida en forma de deposición seca. Por otro lado, las emisiones de NH_3 no se han reducido en España y suponen un input importante de N a los encinares. Aquí hemos propuesto un valor crítico (CLE) de NH_3 en el aire < de $2,5 \text{ mg m}^{-3}$, que protege a las comunidades de líquenes en el bosque semi-natural de encinar, y se proponen nuevos indicadores ($\delta^{15}\text{N}$ y % N de musgo y hojas) de la contaminación desde una fuente puntual de NH_3 .

Agradecimientos

Esta Tesis Doctoral ha sido financiada mediante una beca doctoral de Formación de Personal Investigador (FPI) BES-2010-033274 asociada al proyecto EDEN CGL2009-13188-C03-01 del Ministerio de Educación y Ciencia. Dicho proyecto ha sido coordinado por la Dra. Anna Àvila i Castells (CREAF, Universitat Autònoma de Barcelona) bajo cuya dirección se ha realizado la presente tesis doctoral.

Referencias

- Avila, A., Rodà, F. 2012. Changes in atmospheric deposition and streamwater chemistry over 25 years in undisturbed catchments in a Mediterranean mountain environment. *Science of the Total Environment* 434: 18-27.
- Bobbink, R., Hettelingh, J.P. 2010. Review and revision of empirical critical loads and dose-response relationships. *Proceedings of an expert workshop, Noordwijkerhout* Vol. 2325.
- Bobbink, R., Hicks, K., Galloway, J., Spranger, T., Alkemade, R., Ashmore, M., Bustamante, M., Cinderby, S., Davidson, E., Dentener, F., Emmett, B., Erisman, J., Fenn, M., Gilliam, F., Nordin, A., Pardo, L., De Vries, W. 2010. Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis. *Ecological Applications* 20: 30-59.
- Dentener, F., Kinne, S., Bond, T., Boucher, O., Cofala, J., Generoso, S., et al. 2006. Emissions of primary aerosol and precursor gases in the years 2000 and 1750 prescribed data-sets for AeroCom. *Atmospheric Chemistry and Physics* 6: 4321-4344.
- Galloway, J.N., Aber, J.D., Erisman, J.W., Seitzinger, S.P., Howarth, R.W., Cowling, E.B., et al. 2003. The nitrogen cascade. *Bioscience* 53: 341-356.
- Hallsworth, S., Dore, A., Bealey, W., Dragosits, U., Vieno, M., Hellsten, S., et al. 2010. The role of indicator choice in quantifying the threat of atmospheric ammonia to the 'Natura 2000' network. *Environmental Science and Policy* 13: 671-687.
- Izquieta-Rojano, S., García-Gómez, H., Aguillaume, L., Santamaría, J.M., Tang, Y.S., Santamaría, C., Cape, J.N. 2016. Throughfall and bulk deposition of dissolved organic nitrogen to holm oak forests in the Iberian Peninsula: Flux estimation and identification of potential sources. *Environmental Pollution* 210: 104-112.
- Peñuelas, J., Filella, I. 2001. Herbaria century record of increasing eutrophication in Spanish terrestrial ecosystems. *Global Change Biology* 7: 427-433.
- Pinho, P., Dias, T., Cruz, C., Tang, Y.S., Sutton, M.A., Martins-Loução, M.A., et al. 2011. Using lichen functional diversity to assess the effects of atmospheric ammonia in Mediterranean woodlands. *Journal of Applied Ecology* 48: 1107-1116.

LAURA AGUILLAUME

La deposición de nitrógeno en encinares Mediterráneos: cargas e indicadores. *Nitrogen deposition at Mediterranean holm-oak forests: loads and indicators.*

Tesis Doctoral

Programa de Doctorado en Ecología Terrestre, CREAF-Universidad Autónoma de Barcelona

Septiembre 2015

Directores: Anna Ávila i Castells

Publicaciones resultantes de la tesis

Aguillaume, L., Rodrigo, A., Ávila, A. 2016. Long-term effects of changing atmospheric pollution on throughfall, bulk deposition and streamwaters in a Mediterranean forest. *Science of the Total Environment* 544, 919-928.