

# VALORACIÓN DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA POR SO<sub>2</sub> EN LA ZONA DE FERROL-FENE (LA CORUÑA) MEDIANTE LÍQUENES EPIFITOS.

Regina CARBALLAL & Aida GARCÍA MOLARES

**RESUMEN:** Se efectúa un estudio en el área de Ferrol-Fene utilizando líquenes epífitos como indicadores biológicos de contaminación atmosférica. Se seleccionaron 24 puntos de muestreo en el término municipal de Ferrol y otros 5 en Fene. Los métodos utilizados fueron el Índice de Pureza Atmosférica de Leblanc & De Sloover (1970), la escala cualitativa de Hawksworth & Rose (1970) y la escala cualitativa modificada para Galicia de Carballal & García Molares (1987-88). Teniendo en cuenta los resultados suministrados por el I.P.A. y la escala cualitativa modificada para Galicia, se delimitaron y cartografiaron tres zonas de isocontaminación.

**Palabras clave:** Líquenes, contaminación.

**ABSTRAC:** A study at the Ferrol-Fene area by means of epiphytic lichens as biological monitoring of air pollution is carried up. There were selected 24 sampling points at Ferrol town and another 5 at Fene. The used methods were the Index of Atmospheric Purity (I.A.P.) of Leblanc & De Sloover (1970), the qualitative scale of Hawksworth & Rose (1970) and the qualitative scale modified for Galicia of Carballal & García Molares (1987-88). Three zones of isopollution were delimited and mapped taking in account the I.A.P. and the qualitative scale modified for Galicia.

**Key words:** Lichens, pollution.

## INTRODUCCIÓN

Hasta la fecha han sido realizados numerosos trabajos encaminados a establecer una metodología válida para la evaluación de la contaminación atmosférica mediante bioindicadores líquénicos. A partir de la década de los setenta su aplicación ha ido en aumento.

Si bien se conocen otros compuestos emitidos a la atmósfera que ejercen una acción negativa sobre el desarrollo de la flora líquénica, la mayoría de las investigaciones se han dirigido hacia los compuestos de Azufre, cuya incidencia se conoce mejor debido a la instalación de numerosos aparatos que controlan sus niveles

en los países industrializados. Ejemplo de ello son los estudios llevados a cabo por Hawksworth & Rose (1970), Lerond (1978, 1984), Deruelle & García-Schaeffer (1983) y Bento-Pereira & Sergio (1983). En nuestro país son varios los equipos investigadores interesados sobre el tema; entre otros podemos citar los estudios realizados por Crespo et al. (1977,1981), Giralt (1986) y Terrón & Díaz (1987).

La eficacia de los métodos físico-químicos de medida de la contaminación atmosférica que vienen aplicándose depende del período de tiempo durante el que se efectúan las medidas, la colaboración de un buen número de profesionales capacitados y la existencia de una red lo suficientemente densa para asegurar la significación de los datos que suministran; todos estos factores suponen una gran inversión a la hora de establecer una red de vigilancia fiable. Es precisamente en este punto donde, pensamos, radica el interés de la utilización de los indicadores biológicos en el campo de la contaminación atmosférica. En el caso de la flora líquénica, cuya sensibilidad a este tipo de contaminantes, especialmente los óxidos de Azufre, ha sido suficientemente constatada, permite conocer de forma aproximada e inmediata el grado de contaminación que soporta una zona determinada; no sólo se detecta la contaminación ácida, sino que puede indicar la presencia de otros contaminantes atmosféricos nocivos mediante la observación detallada de las especies presentes, e incluso deterioros difícilmente cuantificables utilizando métodos físico-químicos. Aunque los niveles detectados son aproximados y no es posible realizar un seguimiento a corto plazo de su evolución, el empleo de bioindicadores líquénicos permite definir zonas en las que la incidencia de la contaminación es especialmente preocupante y, por lo tanto, merecedoras de una mayor atención por parte de la Administración.

La franja costera que abarca los municipios de Ferrol y Fene constituye uno de los asentamientos urbanos más importantes de Galicia, con un marcado carácter industrial; su situación relativa en función del régimen de vientos hace suponer que se encuentra en el área de influencia de las centrales térmicas de Meirama y As Pontes, ambas en la provincia de La Coruña (Fig. 1), e incluso la situada en Sabón, puesta de nuevo en funcionamiento en el año 1988. Todo ello, unido a la inexistencia de medidores físico-químicos en sus inmediaciones, justifica la realización de un trabajo de este tipo.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Siempre que ha sido posible en cada estación de muestreo se han seleccionado 10 ejemplares adultos de la misma especie arbórea, de similares características en cuanto a edad, diámetro de tronco, exposición y aislamiento. En el casco urbano de una ciudad y sus alrededores no siempre se presentan las condiciones óptimas que señalan los métodos de estima de la contaminación descritos. Las condiciones ecológicas no han sido siempre las mismas y se han utilizado forófitos de distintas especies, con el fin de que la distribución de las estaciones de muestreo sobre el territorio resultase lo más completa y homogénea posible.



Fig. 1.- Situación relativa de la zona de estudio frente a las principales industrias contaminantes de la provincia.

El método del Índice de Pureza Atmosférica advierte sobre la necesidad de utilizar forófitos de la misma especie arbórea en todas las estaciones muestreadas; a este respecto nos unimos al criterio preconizado por Deruelle & García-Schaeffer (1983) y Van Haluwyn & Lerond (1988) que únicamente señalan la conveniencia de efectuar los muestreos sobre especies arbóreas con características favorables para la instalación de líquenes epífitos, basándose en indicadores estadísticos como Análisis de la Varianza y Correlación aplicados a sus estudios.

Se recogieron muestras de 24 estaciones en el término municipal de Ferrol, de las cuales 22 se encuentran ubicadas en el casco urbano, 1 en el Recinto Ferial y 1 en la Base Naval de A Graña. También se han efectuado recogidas en 5 puntos del municipio de Fene. Su denominación y especie arbórea utilizada en cada caso se especifica en la Tabla 1.

La determinación del material se llevó a cabo en el laboratorio, con las técnicas habituales. En cuanto a la nomenclatura taxonómica se ha seguido, siempre que ha sido posible, a Cannon, Hawksworth & Sherwood-Pike (1985). El material estudiado se encuentra depositado en el herbario SANT-Lich.

En lo que se refiere a la metodología específica de estima de la contaminación se utilizó, en principio, un método cuantitativo, el Índice de Pureza Atmosférica de Leblanc & De Sloover (1970), cuya fórmula es de todos conocida. Para la evaluación del coeficiente  $f$ , bajo el que se determinan simultáneamente cobertura y frecuencia de cada especie en una estación, se ha seguido el criterio de Deruelle & García-Schaeffer (1983). El índice ecológico,  $Q$ , corresponde a la media de las especies que acompañan a la examinada en aquellas estaciones en que fue hallada.

Estacion Nº	Localizacion	Forófito
Término Municipal de Ferrol		
1	Cantón	Tilia sp.
2	Irmandiños	Platanus híbrida
3	Plaza Vella	Salix babylonica
4	Puerto Comercial	Robinia pseudoacacia
5	Pardo Bajo	Platanus híbrida
6	Taxonera	Platanus híbrida
7	Mac-Mahon	Populus nigra
8	Parque	Castanea sativa
9	Plaza de Amboage	Robinia pseudoacacia
10	A Malata	Platanus híbrida
11	Feria de Muestras	Fraxinus sp.
12	C. Arenal-Dr. Fleming	Robinia pseudoacacia
13	Navegantes	Robinia pseudoacacia
14	Plaza de Canido	Salix babylonica
15	Estación R.E.N.F.E.	Platanus híbrida
16	Plaza de España	Salix babylonica
17	Marzal	Robinia pseudoacacia
18	Ramón y Cajal	Populus serotina
20	A Graña	Salix babylonica
21	Plgno. de Caranza I	Robinia pseudoacacia
22	Plgno. de Caranza II	Robinia pseudoacacia
23	Avda. de Bazán	Robinia pseudoacacia
24	Juan de Austria	Salix babylonica
Término Municipal de Fene		
1	Meneiral-Los Olmos	Prunus sp.
2	Perlío- S. Esteban	Fraxinus sp. , Acer pseudoplatanus
3	Astano	Populus serotina
4	Maniños	Quercus robur, Castanea sativa
5	Sillobre	Prunus sp. , Robinia pseudoacacia

Tabla 1.- Relación de las estaciones y especies arbóreas muestreadas.

La utilización de este índice presenta muchas ventajas, pero su mayor inconveniente consiste en la imposibilidad de ofrecer valores absolutos del nivel alcanzado por ningún tipo de contaminante atmosférico. Por ello resulta interesante la utilización de métodos cualitativos y, de esta forma, poder avanzar algún indicio del grado de contaminación soportado.

Entre los métodos cualitativos más difundidos se encuentra la escala de Hawksworth & Rose (1970), que aplicamos a los datos de este trabajo; también fue utilizada la escala cualitativa modificada para Galicia de Carballal & García Molares (1987-88), en la que se sugieren algunos cambios con respecto a la anterior y mejor adaptada a las peculiaridades florísticas de las zonas urbanas de nuestra región, aunque todavía se encuentra en fase de perfeccionamiento.

## RESULTADOS

### A) Utilización del Índice de Pureza Atmosférica

En la Tabla 2 se refleja la distribución de taxones liquénicos presentes en el área de estudio. A cada uno de ellos se le ha asignado un coeficiente  $f$ , en función de la estación considerada y un índice ecológico,  $Q$ , de acuerdo con los criterios comentados en el apartado de Material y Métodos. El número de especies y el I.P.A. calculado para cada estación se presentan al final de la tabla.

El valor de los índices oscila entre 5 en la estación nº 2 y 187 en la estación nº 13. Se ha considerado oportuno agrupar los índices en tres intervalos para delimitar las áreas de isocontaminación. Para establecer los límites de los intervalos se han tenido en cuenta los resultados obtenidos al aplicar el método cualitativo, que en ningún caso llegan a superar los  $40 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2/\text{m}^3$ . De esta forma se consigue que las zonas de isocontaminación delimitadas con el Índice de Pureza Atmosférica tengan su equivalencia en los diferentes niveles de la escala cualitativa, al tiempo que se evita incurrir en una cartografía demasiado compleja.

### B) Utilización de la escala cualitativa de Hawksworth & Rose y la escala cualitativa propuesta para Galicia

En un principio fue aplicada la escala cualitativa de Hawksworth & Rose a los datos obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo. Según esta metodología, la mitad de las estaciones (estaciones nº 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 17 y 18 de Ferrol y 1, 2, 4, y 5 de Fene) se situaría en la zona 8 de la citada escala, que se corresponde con un nivel de contaminación de aproximadamente  $35 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2/\text{m}^3$ . Las restantes estaciones se situarían en los niveles 9 y 10, equivalentes a concentraciones de  $\text{SO}_2$  inferiores a  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y una atmósfera totalmente limpia, respectivamente.

Una vez más se pone de manifiesto la escasa correspondencia de la flora liquénica presente en las zonas urbanizadas de la región gallega y los grupos de especies que definen los niveles de la escala establecida para Inglaterra y País de Gales. Siguiendo a estos autores quedarían incluídas en la zona más limpia estaciones que presentan una diversidad florística muy desigual.

Utilizando la escala cualitativa propuesta para la región gallega (Carballal & García Molares 1987-88), se obtienen unos resultados concordantes con la secuencia de los índices obtenidos por el método del Índice de Pureza Atmosférica.

### C) Cartografía de la contaminación

En función de los resultados arrojados por el método cuantitativo y la aplicación de la escala propuesta para Galicia, se han delimitado las siguientes áreas de isocontaminación, reflejadas en la Fig. 2.



especies/estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	Q																										
<i>Pomelia glabralula</i>	3	1	2	3	3	2	3	4	4	4	1	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	2	2		4	4	4	4	26,00																										
<i>Pomelia perlata</i>		1																								4	4	4	19,43																											
<i>Pomelia quercina</i>			1																							1	2	4	23,00																											
<i>Pomelia reticulata</i>	3							3				4	3					1									2	4	21,33																											
<i>Pomelia revoluta</i>	3							3				4	3					1				2					2	4	24,00																											
<i>Pomelia sorodiana</i>	3			1	1	3	3	3	1	1	2	2	4	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2		1	2	2	2	21,10																										
<i>Pomelia stippea</i>			2	1	2	4	1	2	4	1	1	2	4	1	3	2	1	1	1	1	1	2					4	2	1	23,00																										
<i>Pomelia subaustriaca</i>			2				2	2	4	2	2	2	4	3	2	1	1	1	1	1	1	2					4	4	4	23,58																										
<i>Pomelia sulcata</i>			2									2	2	1	1	1	1	1	1	1	1							4	4	26,13																										
<i>Pomelia tillacea</i>																													1	28,00																										
<i>Pertusaria albescens</i>																																																								
<i>Pertusaria albescens</i> var. <i>conallina</i>																																																								
<i>Pertusaria alpina</i>										1																				28,00																										
<i>Pertusaria amara</i>																														24,00																										
<i>Pertusaria heterochroa</i>											1																			28,00																										
<i>Pertusaria hymenea</i>																						2								20,33																										
<i>Pertusaria pertusa</i>																														19,00																										
<i>Pertusaria cf. pulverea</i>																														28,00																										
<i>Pertusaria sulphurata</i>													4				1				1	4								25,20																										
<i>Pertusaria pustulata</i>				2						1	1	1					2	1	2	2	2	2				1	1	2	4	20,86																										
<i>Phaeographia dendroica</i>			1																											23,67																										
<i>Phaeophyscia chloanthica</i>	4		1	2		1		4				1		1																21,88																										
<i>Phaeophyscia orbicularis</i>	1	4	4	2	1	2	2	1	2	4	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	2		24,08																										
<i>Physcia adscendens</i>	1	4	4	2	2	2	2	2	2	4	2	4	4	4	4	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	1	3	1	22,41																										
<i>Physcia alpicola</i>				1				2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	4	2							27,67																										
<i>Physcia caesia</i>	1		1				2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	2							21,13																										
<i>Physcia clementei</i>																														24,00																										
<i>Physcia semipinnata</i>			2							1												1	2							22,10																										
<i>Physcia tenella</i>	1	2	1				1	1	3	1	1	4	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2								21,21																										
<i>Physconia gelsea</i>	3		1																											20,50																										
<i>Pontina aenea</i>																														19,50																										
<i>Puzosia macropsora</i>																														25,00																										
<i>Ramelina laetivacea</i>																														32,00																										
<i>Ramelina sp.</i>																														27,25																										
<i>Rinodina robusta</i>			1	2			2																							22,00																										
<i>Scolioleporium umbrosum</i>														1	4	1														28,00																										
<i>Usnea cornuta</i>																														26,00																										
<i>Xanthoria parietina</i>			4	4			2							4	4	4	1	2	2	2	2	2	2	4	4	2	4	4		22,06																										
Nº de especies	20	3	23	29	15	4	28	16	25	16	22	18	33	27	8	28	23	26	19	24	22	14	10	45,4	63,4	116,6	102,8	84,2	103,0	75,5	133,0	25,8	151,8	186,4	99,8	88,5	106,3	53,5	84,5	88,5	99,8	186,4	151,8	25,8	133,0	75,5	103,0	84,2	102,8	116,6	63,4	45,4	169,3	123,2	148,8	141,3

Tabla 2.- Resumen del análisis cuantitativo (I.P.A.).

I.P.A. = 1/10  $\sum$  Q . f

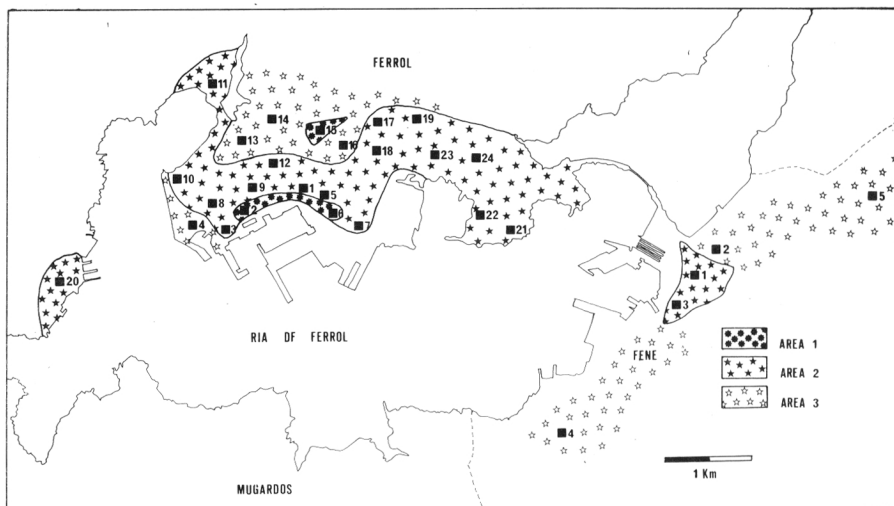


Fig. 2.- Mapa de áreas de isocontaminación.

AREA 1.- Agrupa estaciones con índices comprendidos entre 5 y 26. Corresponde a la zona más contaminada y se sitúa siguiendo el eje Taxonera-Irmandiños, por una parte, y los alrededores de la estación de ferrocarriles en el casco urbano de Ferrol. Ambas zonas soportan un importante tráfico rodado. Según la escala cualitativa la composición florística de las estaciones que incluye la situaría en el nivel 7, equivalente a una concentración de  $\text{SO}_2$  aproximada de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

AREA 2.- Agrupa estaciones cuyos índices oscilan entre 45 y 126. Abarca una gran extensión en el casco urbano de Ferrol y la Base Naval de A Graña; en el término municipal de Fene, engloba la mayor parte de la parroquia de Fene y una porción de Perlío. Aunque el intervalo de índices agrupados es muy amplio, los datos florísticos que presentan las estaciones que la integran permite situarlas en la zona 8 de la escala cualitativa, que se corresponde con  $35 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2/\text{m}^3$  aproximadamente.

AREA 3.- Con índices comprendidos entre 133 y 187. Es la zona menos contaminada del territorio estudiado. Ocupa la mayor parte del término municipal de Fene y se extiende hacia el Norte de la ciudad de Ferrol. La estación nº 4, situada en el muelle, también se incluye en este área, con un I.P.A. de 144. Carece de límite externo, pues probablemente ocuparía mayor extensión que la representada en el mapa, en zonas de edificación abierta y amplias avenidas, de características similares a las muestreadas. Según la composición florística, se situaría en la zona 9-10 de la citada escala cualitativa, soportando un nivel de contaminación inferior a  $30 \mu\text{g}$  de  $\text{SO}_2/\text{m}^3$ .

En el caso de la estación nº 20, situada en la Base Naval de A Graña, incluida en el área 2 cartografiada según la secuencia de I.P.A., presenta una flora que permitiría su encuadre en la zona 9-10 de la escala cualitativa. En este caso los árboles muestreados estaban enclavados hasta, aproximadamente, un metro de altura y probablemente el índice obtenido por el método de Leblanc & De Sloover sería más alto si no se hubiera llevado a cabo esta medida. Hemos creído recomendable mantener esta estación de muestreo, teniendo presente esta circunstancia anómala.



## CONCLUSIONES

Tras la aplicación de los métodos de estima de la contaminación atmosférica mediante bioindicadores liquénicos utilizados en el presente trabajo ( I.P.A. de Leblanc & De Sloover (1970), escala cualitativa de Hawksworth & Rose (1970) y escala cualitativa modificada para Galicia de Carballal & García Molares (1987-88)), en la zona de Ferrol-Fene se han definido 3 áreas de isocontaminación. La delimitación de estas áreas se ha establecido en función de la correspondencia entre la secuencia de los índices arrojados por el método cuantitativo y los niveles de contaminación contemplados en la escala modificada para Galicia, que parece adaptarse más a las peculiaridades de la flora liquénica gallega.

Según los resultados derivados de este estudio, la zona de Ferrol-Fene no presenta por el momento niveles de contaminación preocupantes, pues incluso la zona que se estima como más contaminada arroja unas concentraciones invernales de SO<sub>2</sub> inferiores a las cifras recomendadas por la O.M.S. y, en consecuencia, por la legislación española.

Las perturbaciones observadas pueden ser atribuidas al tráfico rodado y no ha sido posible poner de manifiesto la influencia negativa de las industrias y centrales térmicas situadas en su entorno.

El catálogo de la flora epifítica elaborado permitirá posteriores estudios comparativos a medio y largo plazo y detectar, de este modo, futuras alteraciones ambientales que afecten a estos municipios.

## BIBLIOGRAFIA

- BENTO-PEREIRA, F. & C. SERGIO -1983- Líquenes e briófitos como bioindicadores da poluição atmosférica. II. Utilização de una escala cualitativa para Lisboa. *Rev. de Biología*, 12: 297-312.
- CANNON, P. F., D.L. HAWKSWORTH & M.A. SHERWOOD-PIKE -1985- The British Ascomycotina. An annotated Checklist. *Commonwealth Mycological Institute. The British Mycological Society*. London.
- CARBALLAL, R. & A. GARCIA MOLARES -1987/88- Líquenes epífitos como indicadores de contaminación atmosférica. II. Utilización de una escala cualitativa en la ciudad de Vigo (España). *Lazaroa*, 10 (2): 243-251.
- CRESPO, A., E. BARRENO, L.G. SANCHO & A.G. BUENO -1981- Establecimiento de una red de valoración de pureza atmosférica en la provincia de La Coruña (España) mediante la utilización de bioindicadores liquénicos. *Lazaroa*, 3: 289-311.
- CRESPO, A., E. MANRIQUE, E. BARRENO E. & SERIÑA -1987- Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epífitos). *Anal. del Inst. Bot. J. Cavanilles*, 34 (1): 71-94.
- DERUELLE, S. & F. GARCIA-SCHAEFFER -1983- Les lichens bioindicateurs de la pollution atmosphérique dans la région parisienne. *Cryptogamie, Bryol., Lichénol.*, 4 (1): 47-64.

- GIRALT, M. -1986- Flora i vegetació dels líquens epífits tarragonés. Aplicació al problema de la contaminació atmosfèrica. Ed. *Fundació Antoni i Vicent Mestres Jané*. Vilafranca del Penedés.
- HAWKSWORTH, D. L. & F. ROSE -1970- Qualitative scale for estimating sulphur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*, 227: 145-148.
- LEBLANC, F. & J. DE SLOOVER -1970- Relation between industrialization and growth of epiphytic lichen and mosses in Montreal, Can. *Journal of Botany*, 48 (7): 1485-1496.
- LEROND, M. -1978- Courbes d'isopollution de la région de Rouen obtenues par l'observation des lichens epiphytes. *Bull. Soc. Linn. Normandie*, 106: 73-84.
- LEROND, M. -1984- Utilisation des lichens pour la cartographie et le suivi de la pollution atmosphérique. *Bull. Ecol.*, 15 (1): 7-11.
- TERRON, A. & T.E. DIAZ -1987- Establecimiento de las zonas de isocontaminación en la zona de Ponferrada (León) mediante el empleo de bioindicadores liquénicos. *Act. VI Simp. Nac. Bot. Cript.*: 461-470.
- VAN HALUWYN, C. & M. LEROND -1988- Lichénosociologie et qualité de l'air: protocole opératoire et limites. *Cryptogamie, Bryol., Lichénol.*, 9 (4): 313-336.

(Aceptado para su publicación en Junio de 1.990)