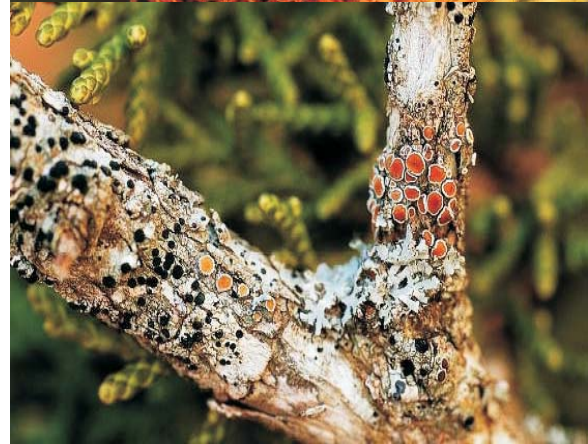


Estudios del IMAE N° 12

Plantas Bioindicadoras
de la Calidad del
Aire Urbano

USAL
UNIVERSIDAD DEL SALVADOR
Vicerrectorado de Investigación y Desarrollo
Instituto de Medio Ambiente y Ecología
2009



UNIVERSIDAD DEL SALVADOR

Vicerrectorado de Investigación y Desarrollo
Dr. Fernando Lucero Schmidt

Instituto de Medio Ambiente y Ecología - IMAE
Dra. Genoveva de Mahieu

Trabajo de Investigación
Dra. Genoveva de Mahieu

Diseño gráfico
Arq. Alejandra Ríos

ISBN 950-592-099-7

Plantas Bioindicadoras de la Calidad del Aire Urbano



Estudios del IMAE Nro. 12 - 2009
Instituto de Medio Ambiente y Ecología (IMAE)
Vicerrectorado de Investigación y Desarrollo
Universidad del Salvador

UNIVERSIDAD DEL SALVADOR

AUTORIDADES

Sr. Rector	Dr. Juan A. Tobías
Sr. Vicerrector Académico	Lic. Javier Alonso Hidalgo
Sr. Vicerrector Económico	Dr. Enrique A. Betta
Sr. Vicerrector de Formación	A/c del Sr. Rector
Sr. Vicerrector de Investigación y Desarrollo	Dr. Fernando Lucero Schmidt
Sr. Secretario General	Dr. Pablo Varela
Sr. Decano de la Facultad de Ciencias de la Administración	Ing. Aquilino López Diez
Sr. Decano de la Facultad de Ciencias Económicas	Dr. Sergio García
Sr. Decano de la Facultad de Ciencias de la Educación y de la Comunicación Social	Lic. Julio Cesar Piñero
Sr. Decano de la Facultad de Ciencias Jurídicas	Dr. Práxedes M. Sagasta
Sr. Decano de la Facultad de Ciencias Sociales	Lic. Eduardo Suárez
Sr. Decano de la Facultad de Ciencias y Tecnología	Ing. Miguel Guerrero
Sr. Decano de la Facultad de Filosofía y Letras	Dra. Ana Zagari
Sr. Decano de la Facultad de Historia, Geografía y Turismo	Dr. Juan Carlos Lucero Schmidt
Sr. Decano de la Facultad de Medicina	Dr. Eduardo Albanese
Sra. Decana de la Facultad de Psicología y Psicopedagogía	Lic. Gabriela María Renault
Srta. Directora de la Escuela de Estudios Orientales	Prof. Luisa R. Rosell
Sr. Director de la Escuela de Arte y Arquitectura	Arq. Pablo T. Beitía
Sr. Director de Estudios del Área Pilar - Pcia. de Buenos Aires	Dr. Horacio Annecca
Sr. Director de Estudios del Campus San Roque Gonzalez de Santa Cruz - Virasoro - Pcia. de Corrientes	Agr. Ing. Carlos E. Lanari Vila
Sr. Director de la Carrera de Agronomía - Sede Pilar	A/c del Secr. Académico Ing. Agr. Sebastián Felgueras
Sr. Directora Carrera de Veterinaria - Sede Pilar	Dra. Liliana Pagliere

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. DIFICULTADES EN EL MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE URBANO	9
3. ¿QUÉ CARACTERÍSTICAS DEBE REUNIR UN BIOINDICADOR?	12
4. ¿EN QUÉ CONSISTE LA RESPUESTA BIOLÓGICA?	14
5. PLANTAS MÁS COMUNES UTILIZADAS PARA EL BIOMONITOREO	16
6. ESTRATEGIAS Y TÁCTICAS DE DISTRIBUCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE RELEVAMIENTO PARA UN BIOMONITOREO	19
7. CONCLUSIONES	23

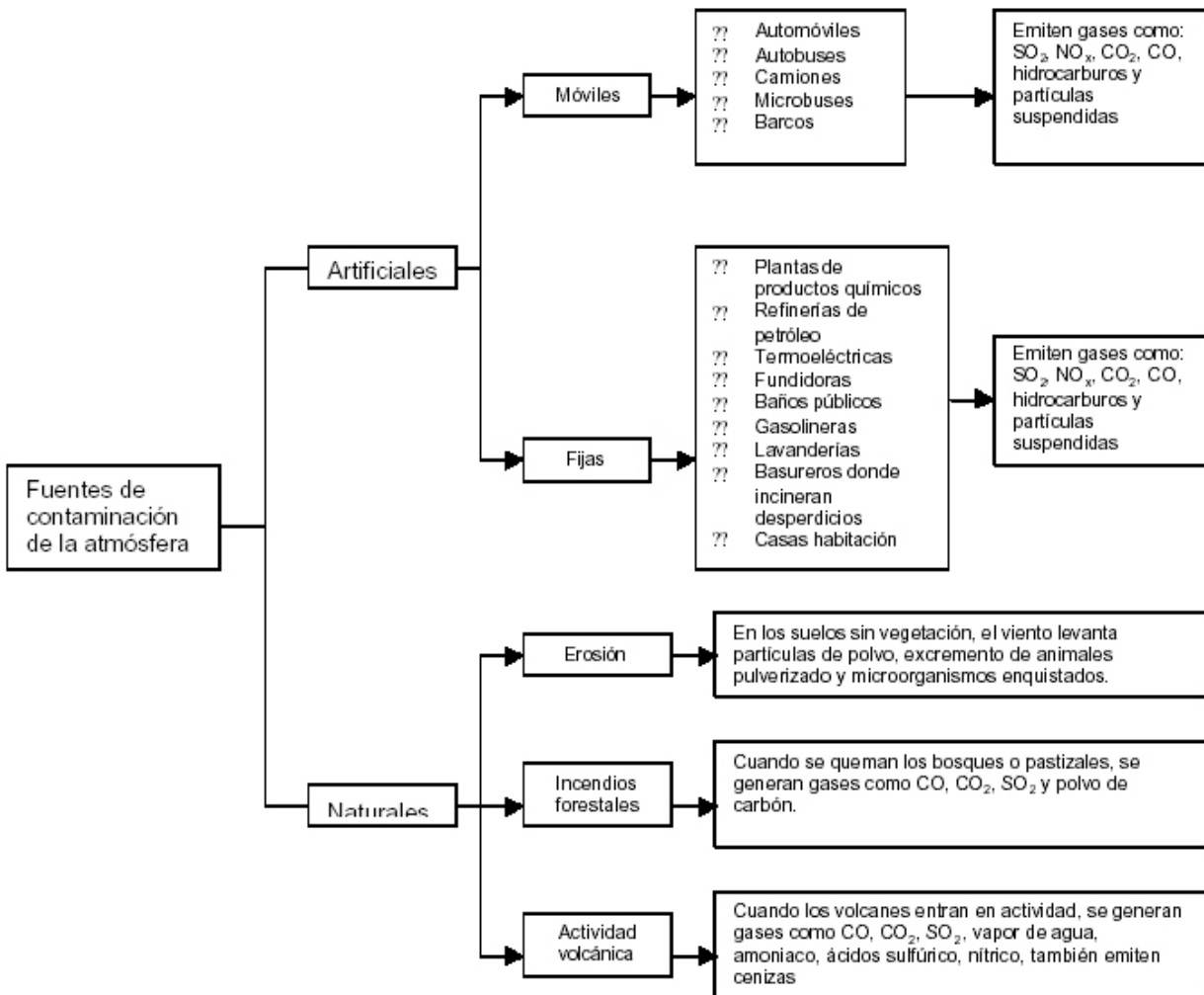
1- Introducción

El informe GEO Global 4, 2007¹ concluye que la contaminación atmosférica provocada por las actividades humanas es uno de los principales problemas medioambientales en nuestro Planeta Tierra, afectando nuestra salud, el bienestar general y el desarrollo en todo el mundo. Los distintos contaminantes primarios que se emiten y los contaminantes secundarios que se forman en la atmósfera tienen duraciones distintas que van desde unas pocas horas a siglos y son transportados a distancias de lo más diversas. Su impacto se siente tanto a escala local como mundial. Las concentraciones actuales de la contaminación atmosférica, en especial de partículas en suspensión (PM - particulate matter en inglés), son muy elevadas en muchas ciudades, sobre todo en las ubicadas en las regiones en vías de desarrollo. La mayoría de las grandes áreas metropolitanas del mundo sobrepasan la directiva de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre NO₂ y no están mostrando indicio alguno de que se vayan a reducir significativamente.

No cabe lugar a dudas, tal como lo expone el Programa Regional para Evaluación de los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina y el Caribe de la OPS/CEPIS² que la contaminación del aire es un peligro y que puede transformarse en aguda, acumulativa y crónica para la salud humana y el ambiente agravando afecciones respiratorias, cardíacas y otras. Puede ser especialmente perjudicial para las personas con enfermedades pulmonares o cardíacas crónicas, embarazadas, ancianos y niños. Además, puede ser aun mas grave para quienes trabajan principalmente en las calles y viven en condiciones precarias.

Según GEO LAC³, 2003 en América Latina y el Caribe las principales causas del deterioro en la calidad del aire son las emisiones atmosféricas provenientes de los de los sectores transporte, industrial y agrícola, el proceso de deposición de desechos, los incendios forestales y las fuentes domésticas. En la Figura 1 se puede observar las fuentes de contaminación de la atmosfera. Nuestra atmósfera debe ser entendida como un equilibrio dinámico en donde las fuentes y los sumideros de los componentes atmosféricos individuales se compensan unos con otros y su delicado equilibrio es perturbado por las acciones humanas. Asimismo, la complejidad de las condiciones topográficas y meteorológicas locales pueden agravar el impacto de la contaminación ya que determina cuan largo es el tiempo de vida de las sustancias nocivas. Algunos de estos contaminantes tienen un origen transfronterizo y hasta transcontinental, provocadas por actividades humanas en países vecinos, el humo de los incendios forestales o la dispersión de partículas suspendidas desde África al Caribe. Según la OPS⁴, 2002 en los centros urbanos de América Latina y el Caribe, la contaminación atmosférica más frecuente se relaciona con altas concentraciones de material particulado y ozono. GEO LAC destaca particularmente que el agotamiento de la capa de ozono estratosférico como problema global tiene impactos locales sustanciales, afectando el sur de Argentina, Brasil, Chile y Uruguay. En particular en el caso de Argentina se refiere a un informe sobre la problemática del ozono realizado por P. Canziani⁵, 2000.

Figura 1: Fuentes de contaminación de la atmósfera



Fuente: Gestión de la Calidad del Aire: Cusas, Efectos y Soluciones. http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtualData/libros/geologia/gestion_calidad/Cap03.pdf

Las mediciones físicas y químicas de los contaminantes del aire urbano proveen un valor preciso sobre el grado de contaminación, el cual es utilizado para estimar los posibles impactos biológicos. En contraste, una respuesta biológica a la exposición de un contaminante determina si esta tiene o no, un efecto biológico. La respuesta biológica, integra el efecto real de la contaminación con los factores que modifican el genotipo, el clima y las condiciones edáficas. Puesto que los bioindicadores integran la influencia de los factores ambientales y proveen una medida directa de sus efectos, suministran sin lugar a dudas una información deseable para el asesoramiento ambiental, en cuanto a la prevención de sus efectos y para determinar la situación actual y las tendencias en la capacidad del ambiente para sustentar la salud ecológica y humana. La utilización de plantas como bioindicadores incluye una metodología de investigación en continua evolución, la cual hay que tener en cuenta, para poder evaluar correctamente los efectos de la contaminación atmosférica, algunas de estas herramientas metodológicas son las que analizaremos en forma somera en el presente trabajo.

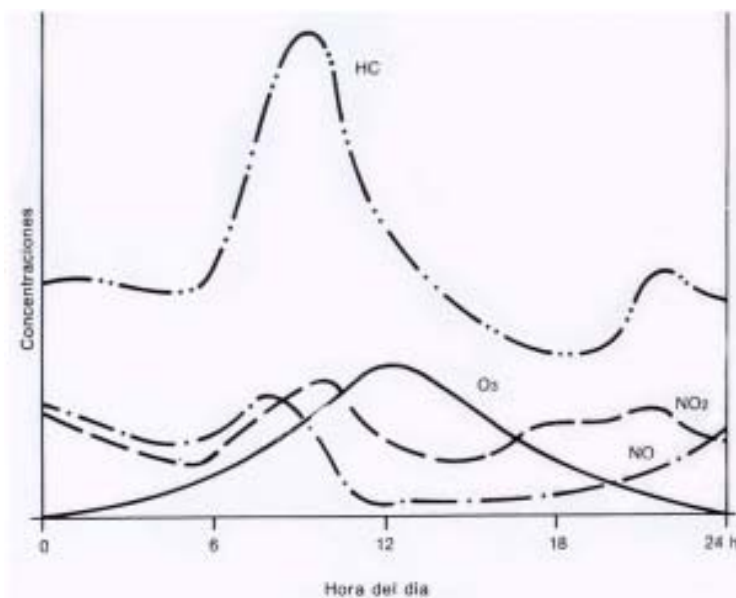
Es importante destacar que las plantas bioindicadoras reúnen una serie de características que las hacen viables no solamente por su relación causa- efecto para monitorear la calidad del aire, sino también a efectos de la comunicación y de la educación ambiental. A menudo revelan claramente a ojos vista su respuesta a la injuria que le produce la contaminación ambiental tal. (Kett, A. et als., 2005)⁶

2- Dificultades en el monitoreo de la calidad del aire urbano

El monitoreo de la contaminación del aire es difícil debido a que:

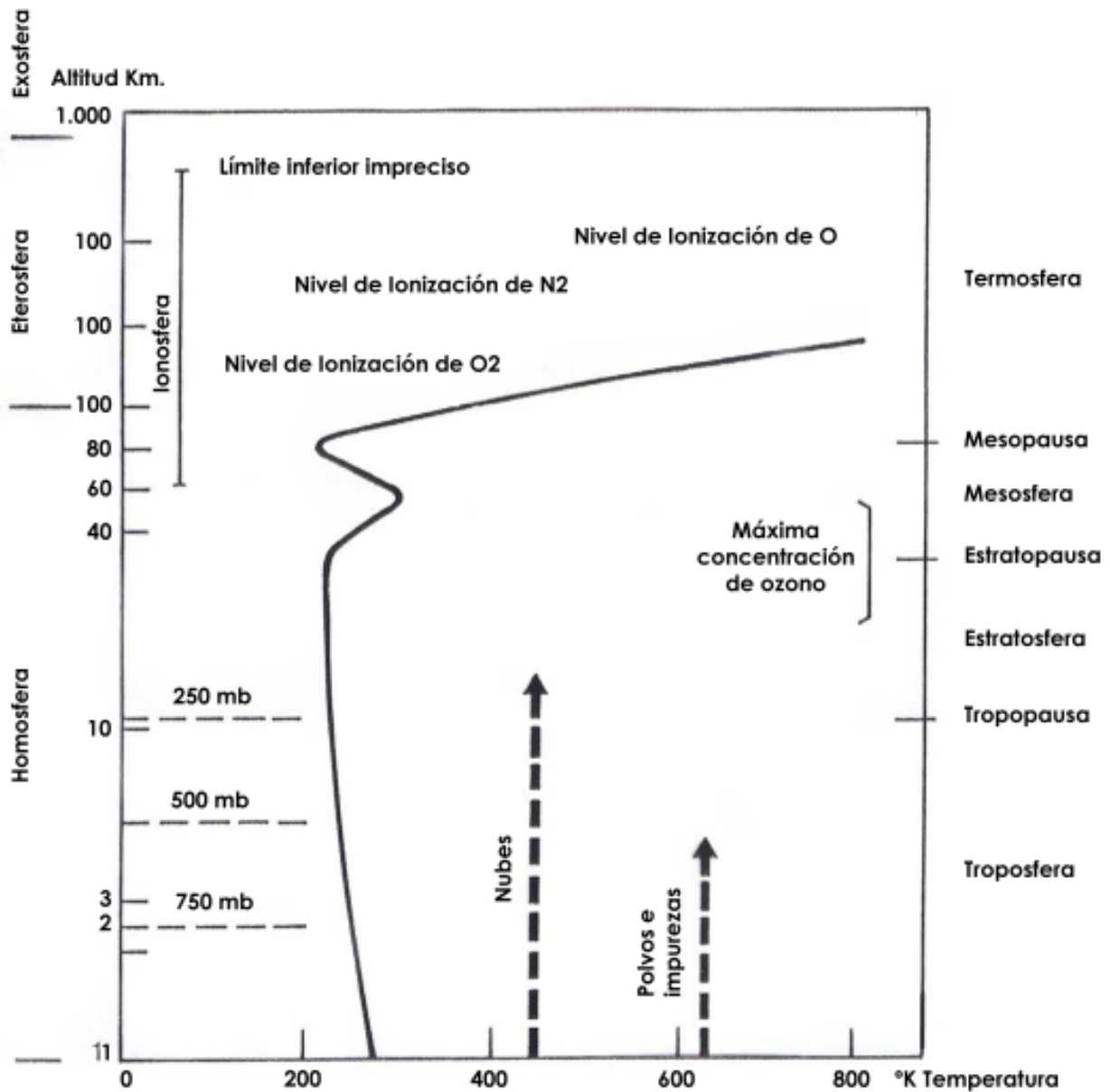
a- La concentración de los contaminantes en la atmósfera es sumamente variable en el espacio y en tiempo; el mapeo de los contaminantes implica estudios de base estadística apoyados sobre una red de puntos de medición de elevada densidad y el análisis de datos sobre un largo período de tiempo. En la Figura 2 se puede observar la variación diaria de la concentración de la contaminación que se origina en las ciudades por la emisión de los contaminantes óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos (HC)n, y el ozono (O₃). La troposfera como sistema es el nivel mas bajo de la atmosfera en el cual ocurren los fenómenos metereologicos (Figura 3). Su límite superior se encuentra a unos 18 Km como promedio en la zona tropical entre unos 10 y 15 Km y a unos 8 km en la región polar. La troposfera comprende entre un 80 y 90 por ciento de la masa de aire terrestre. Esta capa comprende el aire que respiramos y el agua que bebemos, pero también es la que la que recibe todo el impacto de nuestra civilización P. Fabián⁷, 1990.

Figura 2: Variación diaria de la concentración de la contaminación



Fuente: Consejo Coordinador Empresarial. Reporte Anual sobre la Calidad del Aire en la Ciudad de México. * No. 2 1997 Enero de 1998 <http://www.cce.org.mx/cespedes/publicaciones/cuadernos/c2.html>

Figura 3: La distribución espacial de los gases



Fuente: Ampliar en R.E. Molina, hipertexto. Capítulo IV. La atmósfera: una capa invisible. <http://www.geociencias.unam.mx/~rmolina/Diplomado/Atmosfera.html>

b- Los altos costos de las estaciones de monitoreo limitan los puntos de muestreo posible, por lo cual las redes de relevamiento automático tiene a veces una baja calidad estadística a pesar de lo exacto de las mediciones individuales. En la Figura 4 se puede observar una típica estación de monitoreo automatizada de la Universidad del Salvador, Instalada en los Esteros del Iberá.

Figura 4: Estación metereológica de Ibera, C. Pellegrini-Corrientes



Fuente: USAL/VRID/IMAE

c- El instrumental normalmente utilizado permite relevar un número limitado de contaminantes.

Es importante la diferencia que establece P. L. Minis⁸, 1991 entre **contaminación del aire** la cual se expresa en términos de la concentración de una determinada sustancia y que se mide con un instrumento específico del término **calidad del aire** el cual se refiere a los efectos de la contaminación sobre diversos sujetos: los hombres, los animales, las plantas y también sobre los objetos inanimados como los monumentos y las piedras.

Es complicado medir la calidad del aire ya que:

- a) Los efectos de la contaminación en numerosos organismos, son poco conocidos.
- b) Los daños provocados por la contaminación casi nunca dependen de su concentración medio anual, sino que están vinculados a los ciclos de vida de los organismos, al genotipo, a los cambios climáticos, a las estaciones, a las características del suelo y a los tiempos de exposición a los tóxicos, entre otros.
- c) Los efectos sinérgicos de los contaminantes en los organismos, han sido muy poco estudiados.
- d) El conocimiento escaso sobre la producción, transformación y transferencia de los contaminantes en los ecosistemas. En particular teniendo en cuenta la cantidad de focos fijos, móviles y compuestos que emiten una enorme cantidad de sustancias tóxicas al ambiente.

3- ¿Qué características debe reunir un bioindicador?

Un indicador es un signo, es decir algo que representa alguna cosa para alguien. Mas concretamente un indicador, es una variable, la cual es una representación operativa de un atributo (característica, cualidad propiedad de un sistema). Se asocia a un conjunto de entidades a través del cual se manifiesta; esas entidades son los valores o estado de las variables. La adopción de una variable es una decisión pragmática, no es una decisión teórica nos dice G. Gallopin⁹, (basada en la utilidad de la variable para la toma de decisiones) y no teórica (basada en alguna cualidad esencial).

Cuales son según G. Gallopin (op.cit.) las funciones principales de los indicadores:

- * Apreciar condiciones y tendencias
- * Comparar entre lugares y situaciones
- * Evaluar condiciones y tendencias en relación a metas y objetivos
- * Permitir una alerta temprana
- * Anticipar condiciones y tendencias futuras

Conceptos relacionados:

- * Datos: mediciones (o, para variables cualitativas, observaciones) de los valores de la variable en tiempos, lugares, o poblaciones distintos.
- * Variable individual o una variable que es una función de otras variables.
- * La función puede ser un cociente (ej. Número índice), un índice (una función simple – ej. Sumatoria- de 2 o mas variables), o tan compleja como el resultado de un modelo de simulación.
- * Proxy: una variable correlacionada con algún atributo que no es directamente observable u observado.

Valores o estados de los indicadores de significación especial:

- * Estándares y normas: un valor o estado establecido como deseable.
- * Valor de referencia: valor que sirve como una norma con la cual otros valores son medidos o juzgados.
- * Objetivo: valor (o conjunto de valores) específicos a ser alcanzados.
- * Umbral: valor por encima del cual algo pasa o es cierto y por debajo del cual no pasa.

Algunas implicancias prácticas:

* Puede haber indicadores cualitativos (ej. especies indicadoras en ecología) lógicamente rigurosos.

* Diferentes indicadores pueden ser necesarios para diferentes niveles de organización de la realidad.

* Un indicador definido para una escala determinada puede no tener sentido a otras escalas superiores o inferiores.

* Los indicadores pueden ser escalares o vectoriales (un 'perfil ambiental' es un vector)

Un Indicador es una representación numérica que sintetiza información en un período de tiempo. Los indicadores ambientales son formas directas o indirectas de medir la calidad del ambiente, pueden ser utilizados para.

Eurobionet 2004¹⁰, la Red Europea para el asesoramiento en la calidad del aire usando plantas como bioindicadoras caracterizan los bioindicadores utilizan la definición de ARNDT et al¹¹, 1996, como "organismos o comunidades de organismos que reaccionan frente a los factores ambientales cambiando sus funciones vitales y/o su composición bioquímica permitiendo de este modo inferir sobre las condiciones del estado del medioambiente, pero establece que es necesario diferenciar los llamados indicadores sensibles, los cuales responden sensiblemente a una injuria visible, de aquellos que responden a un contaminante específico o aun grupo de contaminantes, de los indicadores acumulativos, que son capaces de acumular gran cantidad de sustancias tóxicas en sus tejidos sin manifestar injurias visibles. Según la guía VDI Verein Deutscher Ingenieure¹², 1999^a. Ambos tipos de bioindicadores esto es los sensibles y los acumulativos, pueden ser utilizados en un biomonitoreo activo con una larga exposición estandarizada.

Un **bioindicador** debe reunir las siguientes características:

- Proveer una respuesta a la contaminación fácilmente detectable.
- Tener una sensibilidad gradual a la contaminación, compatible con su supervivencia.
- Poseer una amplia distribución en el territorio que se quiere monitorear y ser fáciles de encontrar y reconocer.
- Tener escasa movilidad o ser inmóviles.
- Poseer una vida larga y un crecimiento lento y continuo.
- Ser fáciles y eficientes a utilizar.
- Desarrollar un síndrome específico que no pueda ser confundido con otras causas.
- Indicar de modo simple y fácil la frecuencia duración e intensidad del efecto contaminante.

4- ¿En qué consiste la respuesta biológica?

La respuesta biológica que se utiliza para interpretar los cambios en la salud ambiental, integra: la exposición a un contaminante, los factores que modifican el genotipo, el clima, y los factores edáficos. En última instancia, la elección de un indicador va a depender del contaminante y de la información que queramos recoger.

Según Tingley, D¹³ 2005, existe un amplio rango de respuestas de las plantas a la presencia de los contaminantes tales como sus efectos en el crecimiento, y la producción; morfológicos; síntomas foliares, tales como el tamaño de la hoja, el índice del área foliar y la cobertura; en la fotosíntesis y la respiración; en los tejidos; en el pool de metabolitos, cambios en la permeabilidad de las membranas, concentración de contaminantes; -relaciones planta/agua: transpiración, potencial hídrico y sus componentes; cambios en la actividad enzimática, y en la pigmentación.

Par interpretar las alteraciones fisiológicas específicas de los bioindicadores se aplican términos de la fisiología ambiental tales como:

* **Adaptación fisiológica:** cualquier ajuste funcional que favorece la actividad biológica normal en un ambiente alterado o en condiciones de stress.

* **Variación fisiológica:** diferencias en las propiedades fisiológicas que pueden ser adaptativas en relación con un factor de stress ambiental, que puede ser:

- a. genéticamente determinado o
- b. indicado ambientalmente

* **Adaptaciones de resistencia:** adaptaciones que favorecen la sobrevivencia en ambientes extremos.

* **Capacidad de adaptación:** adaptaciones que permitan un funcionamiento en un ambiente medio o "normal".

* **Medidas de letalidad a nivel de:**

- Enzimas
- Lípidos
- Células
- Órganos
- Organismos
- Poblaciones

* **Homeostasis:** mantenimiento de una relativa constancia.

* **Conformidad:** cambio de parámetros internos en relación a cambios del medio ambiente externo.

Los síntomas comunes de daño foliar en presencia del O₃ según W. J. Manning y S. V. Krupa,¹⁴ 1988 en las habas, *Phaseolus vulgaris* L pueden clasificarse en:

Daño agudo

Manchas: son áreas pequeñas necróticas que se deben a la muerte de las células en empalizada, son de color marrón o metálicas, o empalideciendo del gris al blanco.

Granulado o punteado: son manchas de puntos diminutos donde pequeños grupos de células en empalizada están muertas o dañadas, pueden ser blancas, negro, rojizo o rojo púrpura.

Daño crónico

Pigmentación bronceada: las hojas se vuelven de un marrón rojizo al marrón en la medida que se produce un bronceado debido a acumulación de pigmentos fenólicos.

Clorosis: puede producirse a partir de la pigmentación o puede ocurrir también cuando se destruye la clorofila. En la Figura 5 se puede observar imágenes del efecto del daño foliar producido por el ozono en las hojas de tabaco.

Senescencia prematura: pérdida temprana de hojas o frutos.

Existe una escala Horsfall y Barratt¹⁵ (Tabla 1) para evaluar el porcentaje de daño foliar.

Tabla 1: Porcentaje de daño foliar

	Porcentaje de intensidad del daño
0	0
1	0-3
2	3-6
3	6-12
4	12-25
5	25-50
6	50-75
7	75-88
8	88-94
9	94-97
10	97-100
11	100

Fuente: Horsfall, J. G., Barratt. R. W., An improved grading system for measuring plant disease, *Phytopathology* (abstract) 35, 655, 1945

Esta escala con algunas modificaciones aún sigue siendo utilizada ver J. M. Yuska et als.¹⁶, 2009.

5- Plantas más comunes utilizadas para el biomonitoreo

Desde el punto de vista ecológico I. F. Spellerberg¹⁷, 1991 reconoce dos tipos de plantas bioindicadoras para detectar contaminantes gaseosos atmosféricos las detectoras y las centinelas, entendiéndose por:

Plantas vasculares detectoras: plantas nativas seleccionadas in situ que no necesitan un tratamiento especial. Usualmente son plantas perennes, árboles o hierbas que responden lentamente y a menudo bastante tarde en la época de cultivo Ejemplos.

Prunus serotina (Davis et als., 1982) cereza negra

Pinus ponderosa y *P. Jeffrey* (Stolte et als.), 1992) pino

Medicago sativa L (Oshima et als.), 1976) alfalfa

Rubus sp. (Chappelka et al., 1986 y Mannig 1991) baya

Plantas vasculares centinelas: especies de plantas que no son nativas que provienen de selecciones bien definidas, cultivares o clones, que proveen una información confiable de sus síntomas foliares cuando son expuestos a ambientes ozonificados.

Se las hace crecer en aire filtrado con carbón vegetal luego se las introduce en áreas contaminadas. Según numerosos autores, son sumamente útiles par identificar zonas con alta concentración o que han sido durante largo tiempo expuestas al contaminante.

Ejemplos.

Bel-W3 tabaco (*Nicotiana tabacum* L.), Guderian et al., 1985 tabaco

Ipomoea purpurea gloria de la mañana (Manning, 1977)

Trifolium repens (Heagle et als., 1992) trébol

T. subterraneum (Sanders et als., 1992) trébol

Spinacea oleraceae (Posthumus, 1982) espinaca

Phaseolus vulgaris (Oshima, 1974 y Sandres et al., 1992) haba

Figura 5: Efecto del daño foliar producido por el ozono en las hojas de tabaco (izquierda hoja Intaca/ilesa, centro y derecha hoja moderada o fuertemente dañada)



Fuente: <https://www.uni-hohenheim.de/eurobionet/Finalreport-eng/5-Methods.pdf>

En la Tabla 2 se puede observar las especies y criterios utilizados en EuroBionet para medir los efectos de la contaminación del aire.

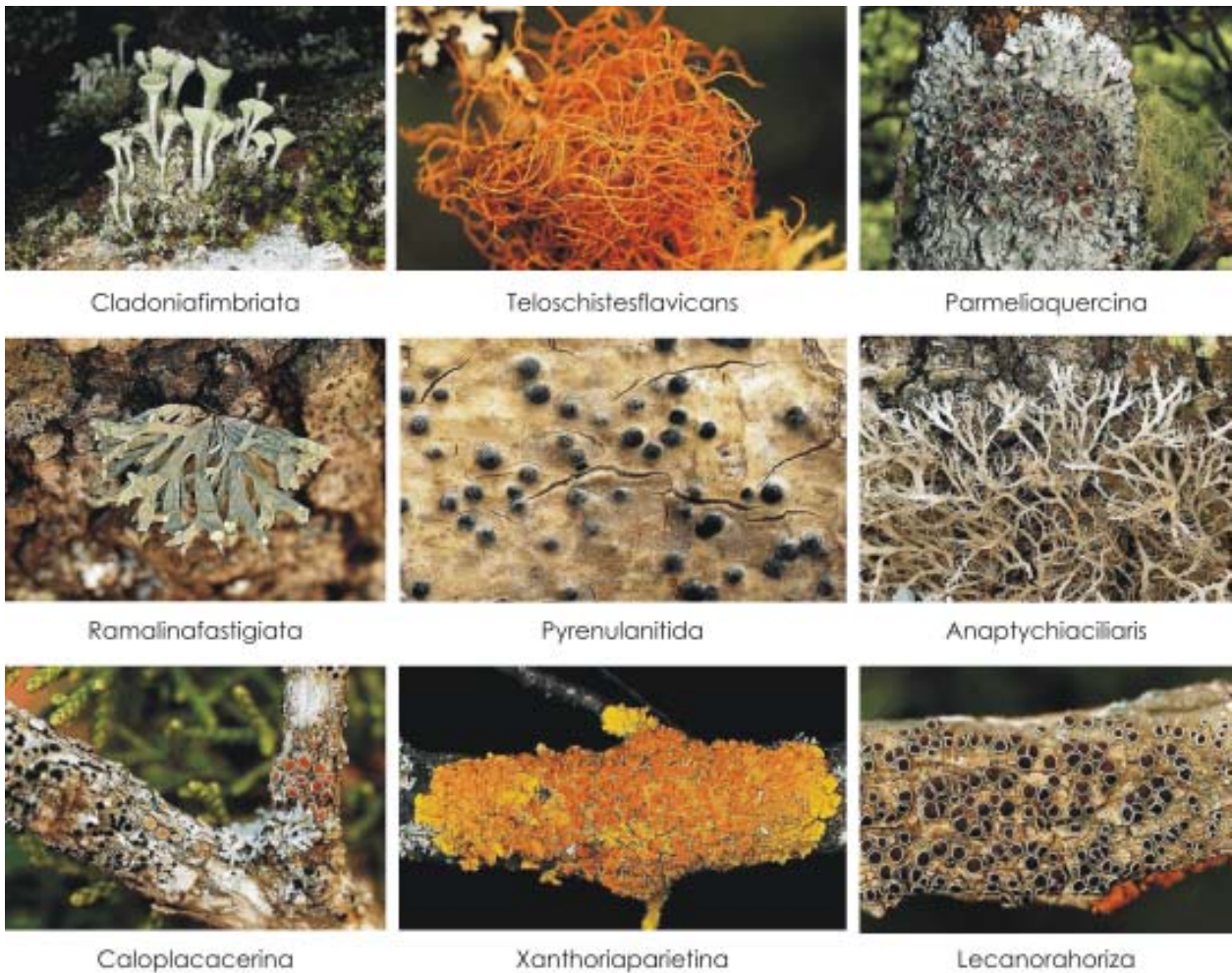
Tabla 2: Especies y criterios utilizados en EuroBionet para medir los efectos de la contaminación del aire

Especie Bioindicadora	Contaminantes en el aire	Criterio utilizado para medir los efectos
Tabaco (<i>Nicotiana tabacum</i> cv. Bel-W3)	Ozono (foto-oxidantes)	Injurias visibles en las hojas
Alamo (<i>Populus nigra</i>) clone 'Brandaris'	Ozono (foto-oxidantes), Metales pesados, elementos traza	Injurias visibles en las hojas Acumulación
Oreja de gato Spiderwort (<i>Tradescantia</i> sp.) clone #4430	Substancias genotóxicas	Daño en los cromosomas (micro-núcleos)
Pasto italiano (<i>Lolium multiflorum</i> , Lema')	Compuestos de sulfuro, Metales pesados, elementos traza	Acumulación
Col ondulado (<i>Brassica oleracea</i> , Hammer/Grüsa')	Hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH)	Acumulación

Fuente: Eurobionet, 2004

Los líquenes se definen como el producto de una relación simbiótica entre un hongo y un alga, con el alga proveyendo los nutrientes bajo la forma de clorofila y el hongo supliendo el agua y los minerales. Debido a que los factores de aire (por ejemplo: contenido del ozono, contenido del fluoruro y de cloruro, concentraciones de radionúclidos) pueden modular parámetros específicos del liquen, se los consideran como buenos bioindicadores de la contaminación atmosférica. A su vez los líquenes son organismos excepcionalmente resistentes a las condiciones ambientales adversas y capaces, por tanto, de colonizar muy diversos ecosistemas. La protección frente a la desecación y la radiación solar que aporta el hongo y la capacidad de fotosíntesis del alga confieren al simbiote características únicas frente a otros organismos. En la Figura 6 se pueden observar varios líquenes que son usados como bioindicadores extraídos del la Guía de líquenes epífitos de V. Calatayud y M. J. Sanz Sánchez¹⁸, 2000 (En: <http://www.ceam.es/VentaLibros/liquen/index.htm>).

Figura 6: Líquenes usados como bioindicadores



Fuente: <http://www.ceam.es/VentaLibros/liquen/index.htm>

Es importante actualmente el uso de líquenes para monitorear el cambio climático en Holanda C. M. Herk¹⁹, et als., 2002 en un monitoreo desde el año 1979-2002 observaron un cambio en la abundancia relativa de especies de líquenes asociadas los cambios de temperatura, y lo asociaron al Cambio Climático Global.

6- Estrategias y tácticas de distribución y localización de las estaciones de relevamiento para un biomonitoreo.

Mapeo: se realiza un mapa con la cobertura vegetal y las etapas estructurales o las sucesiones que ocurren en las especies P L Nimis et als.²⁰, 2002 tienen una síntesis detallada en cuanto a los distintos métodos para el monitoreo de líquenes: como indicadores de contaminación, su diversidad y su función en los ecosistemas. El SIG (Sistema de Información Geográfico) es usado para correlación de variables vinculadas a la respuesta de los bioindicadores por ejemplo el IAP (Índice de Pureza Atmosférica) utilizando líquenes y comparándolos con datos de contaminación del aire y del clima de una región, J. Ulshöfer y H- J. ; Rosner, 2001²¹

Si bien es imposible cubrir todo el territorio para que tenga realmente un significado estadístico lo que hay que lograr es:

- a) un adecuado tratamiento estadístico de los datos;
- b) la posibilidad de confrontación de todos los datos del estudio;
- c) un muestreo de modo sistemático, en el cual cada estación sea realmente representativa de una porción del territorio estudiado, es una buena estrategia, un muestreo sistemático estratificado no alineado (Ferretti et al., 1998);
- d) una subdivisión del muestreo en cuadrantes, colocando la estación de relevamiento en un punto definido de la grilla. Este sistema es ampliamente utilizado a escala nacional e internacional.

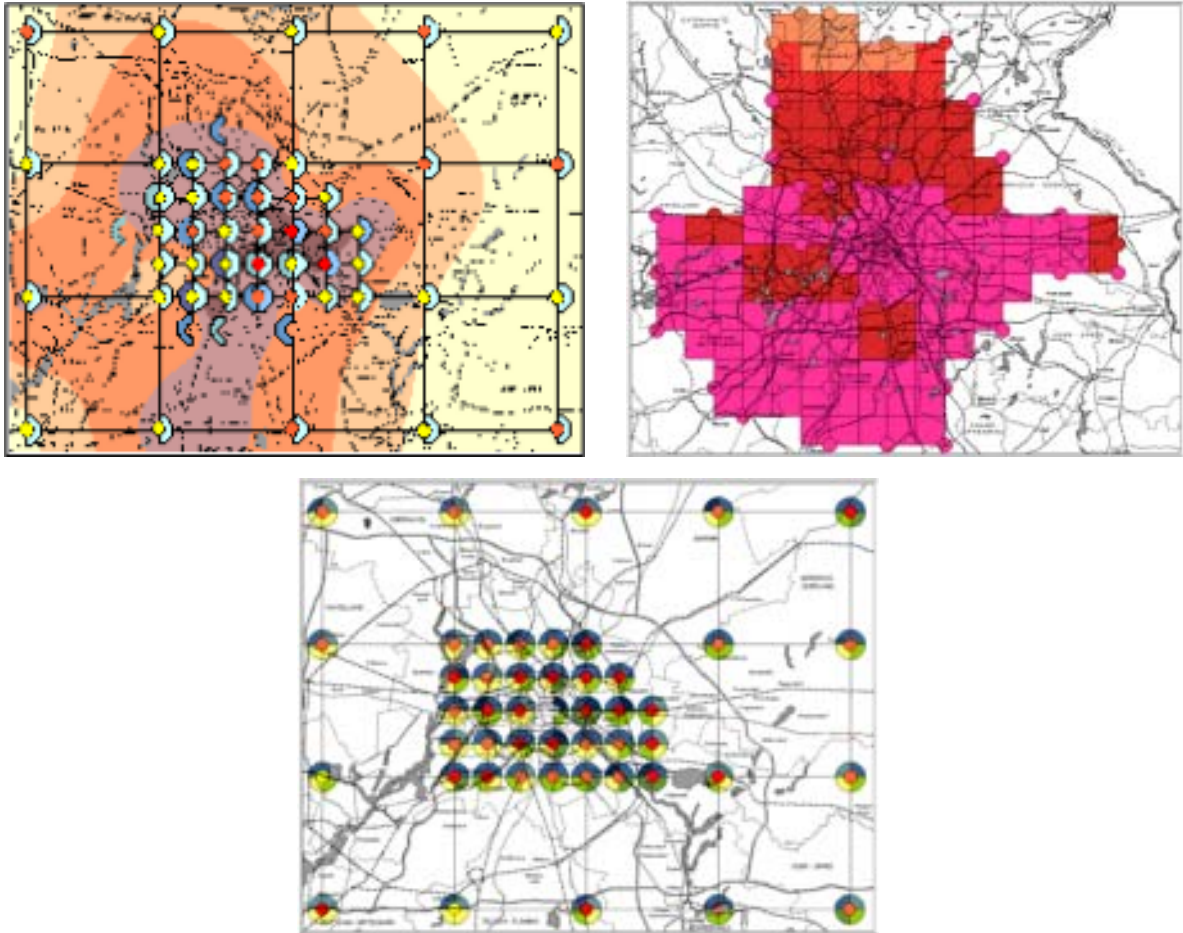
Para estudios a escala territorial amplia, se utiliza como base de referencia un retículo de 20x20 km (Figura 7). En áreas más pequeñas tales como municipios o urbanas se utiliza una grilla de 9x9km. Es posible usar grillas de distinto tamaño según el grado de detalle que se quiera obtener. En la figura 8 se puede observar el relevamiento de líquenes usando cuadrículas realizado en la zona de Brandenburgo Alemania²²⁻²³ El estudio de bioindicadores de contaminación debe incluir población (número y densidad), y áreas con valor paisajístico o de conservación del patrimonio natural;

Figura 7: Monitoreo de líquenes



Fuente: Otte, V. 2001. Exkursiónsbericht "Flechtenexkursión nach Angermünde und Görlsdorf in der Uckermark" am 30.10.2000. Verhandlungen des Botanischen Vereins von Berlin und Brandenburg 134::241–243. [Actual date of publication is 2002.].

Figura 8: Monitoreo de líquenes utilizando cuadrículas



Fuente: Otte, V. 2001. Exkursionsbericht "Flechtenexkursion nach Angermünde und Görldorf in der Uckermark" am 30.10.2000. Verhandlungen des Botanischen Vereins von Berlin und Brandenburg 134::241–243. [Actual date of publication is 2002.]

Los parámetros meteorológicos y climáticos, también deberán registrarse durante toda la campaña de biomonitorio. Son fundamentales la medición de los parámetros físicos (temperatura, radiación solar, precipitación, dirección y velocidad del viento) que influyen la distribución del contaminante. Esta información deberá ser asociada durante toda la marcha del proceso.

Debemos tener en cuenta que cada especie bioindicadora posee relaciones básicas con otras especies y con su ambiente en el ecosistema al cual pertenece. La ecología estudia la relación entre las especies y el ambiente Species - Environmental - Relations - SER (en inglés). Básicamente, se refiere a la relaciones entre las plantas y los animales en la naturaleza, y las analiza mediante modelos y base de datos, para ello tienen en cuenta las componentes siguientes:

-Correlaciones ambientales claves Keys environmental correlates-KECs M. L. Morrison et al., 2006²⁴ – Describe el sin número de factores ambientales que tienen mayor influencia sobre la presencia y la viabilidad de las especies, además de los comúnmente usados como la perturbación inducida por la presencia humana.

-Funciones ecológicas claves Keys ecological functions-KEFs. B. Marcot, (1998²⁵ - describe los principales roles que juegan los organismos en su ecosistema que influyen el tipo, distribución y abundancia de los recursos propios o de los otros organismos. Estas funciones influyen la productividad, diversidad y sostenibilidad de los ecosistemas y sus recursos) considera que un buen manejo de un ecosistema debe tener en cuenta los siguientes factores claves:

- Mantener funciones ecológicas claves de las especies que afectan la diversidad, la productividad y la sostenibilidad de los ecosistemas.

- Proveer todos las correlaciones ambientales claves – habitats y otros factores que influyen la viabilidad de las especies.

Mantener condiciones que permitan el potencial evolutivo de las especies y la integridad ecológica de los ecosistemas terrestres.

- Seleccionar bioindicadores para monitorear el ecosistema.

Uno de los índices mas usados en la bibliografía es el de **Pureza Atmosférica, IAP** (M.E. Conti 26 2008 que se expresa del siguiente modo:

$$IAP = 1/10 \sum (Q \times f)$$

Donde:

\sum : sumatoria

n: es el número de especies que están presentes en el sitio,

f: es la frecuencia de las especies en la escala del 1 al 5,

Q: es igual al índice ecológico para cada especie, esto es la media de las otras especies que crecen con las especies que están en el área de estudio.

Fernández-Salegui, A. B. y Terrón Alfonso, A.²⁷ 2003 utilizaron el índice IAP para el biomonitoreo de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León). Calvelo S.; Liberatore²⁸ S., 2004, evaluaron la aplicabilidad de los líquenes, utilizando el Índice de Pureza Atmosférica para evaluar la contaminación atmosférica en dos áreas urbanas y agrícolas de la provincia Río Negro-Argentina: San Carlos de Bariloche, como ciudad turística, y Chalet Regina, una ciudad rodeada por las áreas agrícolas, Los resultados indicaron que el IAP es un método exacto para detectar y evaluar la contaminación atmosférica en Bariloche, un resultado que se pueda ampliar a otras ciudades con características similares. En cambio, el IAP demostró no ser apropiado para su uso en áreas de la fruticultura, En Bolivia Anze R., et al.,²⁹ 2007 también han aplicado el IAP en las ciudades de La Paz y El Alto en el marco de una Red de Monitoreo de la Calidad del Aire (Red MoniCA) implementada por los gobiernos municipales.

7- Conclusiones

Esta breve revisión, sobre el uso de plantas como bioindicadores, para evaluar la contaminación atmosférica, nos muestra que estas están siendo ampliamente utilizadas en distintas regiones del nuestro planeta. Eurobionet, 2004 op.cit. es un ejemplo a nivel europeo ya que ha podido hacer comparaciones entre distintos países, lo que agrega aún importancia al uso de esta metodología de investigación, ya que en este momento los bioindicadores también empiezan a ser utilizados para el seguimiento de los efectos a escalas globales, sobre la salud humana y los ecosistemas.

Estudios recientes han desarrollado cada vez más, el conocimiento sobre los efectos de los contaminantes más importantes atmosféricos, a nivel bioquímico, fisiológico, celular y ultraestructural en los bioindicadores, siendo un campo de investigación en continua evolución, como respuesta a la demanda real de métodos de evaluación de la contaminación ambiental y sus efectos sobre la salud humana.

Los contaminantes atmosféricos más medidos utilizando plantas como bioindicadores hasta el presente son el SO₂, el NO_x, NH₃ y el O₃.

Los líquenes sin lugar a duda son las plantas más reconocidas como bioindicadoras para el monitoreo de la contaminación del aire urbano, sobre todo en sitios expuestos durante largo tiempo a la contaminación. Pier Luigi Nimis, 1997³⁰ se pasó muchos años estudiando los líquenes del noreste de Italia y pudo comprobar que estos morían en las zonas afectadas por la contaminación industrial. Entonces fue elaborando un mapa en el que se reflejaba las zonas de menor densidad y diversidad de líquenes, cuando mostró su mapa en un congreso a Cesare Cislighi, un profesor del Instituto de Estadística Médica de la Universidad de Milán que investigaba el cáncer de pulmón, le dijo que coincidía "casi al milímetro" con el mapa epidemiológico de esa enfermedad en la región. "Coincidían tanto -señala Nimis- que cuando me mando su mapa por correo electrónico, creí que se trataba del mío". De allí que surgen varios estudios epidemiológicos que se correlacionan con el biomonitoreo de los líquenes (P. L. Nimis., S. Martellos., A. Moro³¹ 2009). El monitoreo periódico de la contaminación con líquenes, es utilizado en programas de seguimiento nacionales e internacionales sobre el estado de los ecosistemas. Es la base por ejemplo, de Programa Nacional de España sobre de monitoreo de la calidad del aire, denominado Sistema Pan-Europeo para el Seguimiento Intensivo y Continuo de los Ecosistemas Forestales³². También son actualmente propuestos como bioindicadores de la salud de los bosques y del cambio global (E. Barreno Rodríguez³³, 2009).

Si bien es cierto, que muchas plantas como bioindicadoras integran las influencias de los factores ambientales, proveyendo medidas directas de los efectos tóxicos, es necesario establecer una serie de parámetros que permitan predecir correctamente el estado de un organismo o ecosistema. Además el bioindicador es específico para cada contaminante y debe evidenciar síntomas claros con relación a sus efectos, los cuales no puedan ser confundidos con uno o más estresores.

Notas

¹ PNUMA Perspectivas del Medio Ambiente Mundial-GEO – 4, 2007. http://www.unep.org/geo/geo4/report/GEO-4_Report_Full_ES.pdf

² Organización Panamericana de la Salud (OPS).Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)-Programa Regional para Evaluación de los Sistemas de Monitoreo de la Calidad del Aire en América Latina y el Caribe2 2008. <http://bvscde.per.paho.org/bvsci/E/fulltext/qaqc/resumen.pdf>

³ PNUMA -Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente- GEO América Latina y el Caribe: Perspectivas del Medio Ambiente 2003.

⁴ OPS (Organización Panamericana de la Salud: La salud en las Américas, edición de 2002, Publicación Científica N° 587, OPS, Washington, D. C., Estados Unidos, volumen 1, 2002.

⁵ Canziani, P.: Boletín Agujero de la capa de ozono, 20 de octubre de 2000, Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable, CAPP (Centro de Análisis de Políticas Buenos Aires, Argentina. (en http://boletin_2010.htm, consultado el 29 de enero de 2001) 2000. <http://www.medioambiente.gov.ar/ozono/boletines/>

⁶ Kett, A., Dong S., Kett, A., Andrachuk, H. y Craig, B. - Aprendiendo con Líquenes. Uso de Líquenes Epífitos como Indicadores Biológicos de Contaminación del Aire Trad. español: Felipe Ibarra-Martinez. On line <http://www.greenteacher.com/articles/Lichens.pdf>

⁷ Peter Fabian- Atmosfera y medio Ambiente Editorial Idearium de la Universidad de Mendoza. 1990.

⁸ Nimis P.L., Lazzarin A., Lazzarin G. & Gasparo D., - Lichens as bioindicators of air pollution by SO₂ in the Veneto region (NEItaly). *Studia Geobotanica*, 11: 3-76. 1991

⁹G. Gallopin. Seminario sobre Indicadores de Desarrollo Sostenible en América Latina y el Caribe CEPAL (División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos) Santiago de Chile, 29 y 30 de noviembre de 2001.

¹⁰ EuroBionet- European Network for the Assessment of Air Quality by the Use of Bioindicator Plants. Final Report University of Hohenheim. Compilation and Project Coordination PD Dr. Andreas Klumpp. Editors PD Dr. Andreas Klumpp; Dipl. Biol. Wolfgang Ansel.; Dr.Gabrielle Klumpp Institute for Landscape,2004. https://www.uni-hohenheim.de/eurobionet/report_eng.html

¹¹ Arndt, U., Fomin, A. & Lorenz, S. Bioindikation – neue entwicklungen, nomenklatur und synökologische aspekte. g. heimbach verlag, ostfildern, 308 pp. 1996.

¹² VDI Verein Deutscher Ingenieure: Biologische Messverfahren zur Ermittlung und Beurteilung der Wirkung von Luftverunreinigungen auf Pflanzen (Bioindikation). Grundlagen und Zielsetzung. – Biological measuring techniques for the determination and evaluation of effects of air pollutants on plants. Fundamentals and aims. VDI-Guideline 3957 Part 1. (1999a).

¹³ Tingley, D. Bioindicators and air pollution research. Application and constraints En: Biological markers and air pollution stress and damage in forests The National Academic Press1989.

¹⁴ Krupa, S. V., Marning, W. J., Atmospheric ozone: formation and effects in vegetation.

Environ. Pollut. 90 (132 -187) 1988.

¹⁵ Horsfall, J. G., Barratt. R. W., An improved grading system for measuring plant disease, *Phytopathology (abstract)* 35, 655, 1945.

¹⁶ Yuska J. M; Kelly, Ferdinand, J. A.; Stevenson, R. E.; Savage, J. E.; Mulik J. D.; Hines, A. Use of bioindicators and passive sampling devices to evaluate ambient ozone concentrations in north central Pennsylvania. *Environmental Pollution*, 2009.

¹⁷ I. F. Spellerberg-Monitoring ecological change. Cambridge, UK . Cambridge university Press, 334p,1991.

¹⁸ Calatayud, V. y Sanz Sánchez M.J., Guía de líquenes epífitos. Ministerio del Medio Ambiente. Secretaría General de Medio Ambiente. Edición especial para la Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Publicaciones de Parques Nacionales. España, 2000. <http://www.ceam.es/VentaLibros/liquen/index.htm>

¹⁹ Herk, C. M. van, A. Aptroot en H. F. van Dobben. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. *Lichenologist*, 34 (2): 141-154. (2002

²⁰ Nimis, P. L., Scheidegger, C., Wolseley, P. A. Monitoring with lichens: monitoring lichens. Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Lichen Monitoring, Wales, UK, 16-23 August, 2000. Publicado por Springer, 2002.

²¹ Ulshöfer, J.; Rosner H. J.; Gis-based analysis of lichen mappings and air pollution in the area of Reutlingen (Baden-Württemberg, Germany) *Meteorologische Zeitschrift* , vol. 10, no 4, pp. 227-281 (16 ref.), pp. 261-265 2001 <http://cat.inist.fr/?aModele=afficheN&cpsid=14085425>

²² Otte, V. 2001. Exkursionsbericht "Flechtenexkursion in die nördliche Prignitz" am 11.03.. *Verhandlungen des Botanischen Vereins von Berlin und Brandenburg* 134::245-248. [A 2001

²³ Otte, V. 2001. Exkursionsbericht "Flechtenexkursion nach Angermünde und Görldorf in der Uckermark" am 30.10.2000. *Verhandlungen des Botanischen Vereins von Berlin und Brandenburg* 134::241-243. [Actual date of publication is 2002.].

²⁴ Morrison, M. L. Bruce G. Marcot, R. William Mannan *Wildlife-Habitat Relationships: Concepts and Applications*. Publicado por Island Press, 2006 , 493 páginas.

²⁵ Marcot Bruce G *The Key Ecological Functions (KEFs)*. <http://www.spiritone.com/~brucem/kef1.htm>

²⁶ Conti M. E. (ed.) *Biological Monitoring: Theory and Applications—Bioindicators and Biomarkers for Environmental Quality and Human Exposure Assessment*. *Environ Health Perspect.* 2008 July; 116(7): A312. Reviewed by Dana B. Barr Boston: WIT Press, 2008. 228 pp.

²⁷ Fernández-Salegui, A.B. y Terrón Alfonso, A. 2003. Biomonitorización de la calidad del aire en los alrededores de La Robla (León). *Ecosistemas* 2003/2 (URL: <http://www.aeet.org/ecosistemas/032/investigacion2.htm>)

²⁸ Calvelo S.; Liberatore S.- Applicability of In Situ or Transplanted Lichens for Assessment of Atmospheric Pollution in Patagonia, Argentina *Journal of Atmospheric Chemistry*, Volume 49, Numbers 1-3, November 2004, pp. 199-210(12) Publisher: Springer.

²⁹ Anze R., M. Franken, Zaballa. M., Pinto M. R., G., M. Á. Zeballos. , Á Cuadros., A. Canseco. De la Rocha. A. Estellano, V. H., Del Granado, S- Bioindicadores en la detección de la

contaminación atmosférica en Bolivia. Boletín de REDESMA Revista Virtual Junio 2007- Vol. 1-Nº1. <http://revistavirtual.redesma.org/vol1/prec.htm>

³⁰ C. Cislighi & P. L. Nimis. Lichens, air pollution and lung cancer Nature 387, 463 - 464 (29 May 1997).

³¹ P. L. Nimis., S. Martellos.,A. Moro Guida ai licheni epifiti per studi di biomonitoraggio Proyecto KeytoNature/Dryades. Departamento de Biología. Università degli Studi di Trieste On line 2009. http://dbiodbs.units.it/carso/chiavi_pub21?sc=122

³² Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Sistema Paneuropeo para el Seguimiento Intensivo y Continuo de los Ecosistemas Forestales, Red CE de Nivel II On line. http://www.mma.es/portal/secciones/biodiversidad/montes_politica_forestal/sanidad_forestal/actividades_y_tareas/red_ce_nivel2/

³³ Eva Barreno Rodriguez. Los líquenes como bioindicadores de la salud de los bosques y del cambio global Conferencia. El legado de Prometeo Universidad de Valencia-España 21 de mayo 2009. <http://www.uv.es/prometeo/info.htm>

**Vicerrectorado de Investigación y Desarrollo
Instituto de Medio Ambiente y Ecología · IMAE**

Rodríguez Peña 770, 2º Piso C1020ADP

Buenos Aires - Argentina

Tel: (011) 4813-0631/1381 int. 2426

E-mail: uds-inve@salvador.edu.ar

Sitio de Internet: <http://www.salvador.edu.ar/vrid/imae>



**USAL
UNIVERSIDAD
DEL SALVADOR**