

Introducción a un estudio sobre la contaminación atmosférica y su relación con la vegetación

Seoanez M.

L'environnement

Paris : CIHEAM
Options Méditerranéennes; n. 9

1971
pages 57-62

Article available on line / Article disponible en ligne à l'adresse :

<http://om.ciheam.org/article.php?IDPDF=CI01.0429>

To cite this article / Pour citer cet article

Seoanez M. **Introducción a un estudio sobre la contaminación atmosférica y su relación con la vegetación**. *L'environnement*. Paris : CIHEAM, 1971. p. 57-62 (Options Méditerranéennes; n. 9)



<http://www.ciheam.org/>
<http://om.ciheam.org/>

Mariano SEOANEZ
 Ingeniero de Montes
 Experto en problemas
 de medio ambiente

Introducción a un estudio sobre la contaminación atmosférica y su relación con la vegetación

La humanidad, a medida que se ha ido desarrollando la ciencia, se ha visto cada vez mas sometida a servidumbres, una de las cuales y no de las menos graves es la contaminación atmosférica; ya en el año 79, Plinio el Joven narró la destrucción de Pompeya por los vapores y lavas del Vesubio.

Actualmente, la contaminación de las aguas, de la atmósfera, de los alimentos, del suelo, son problemas que obsesionan a todos los países y estamos en un momento de toma de contacto y puesta a punto de métodos que nos resuelvan la cuestión, si no en su totalidad, mitigando al menos en lo posible las consecuencias de nuestra civilización.

El primer problema que nos encontramos en las investigaciones es el de la diversidad de elementos de que constan tanto las fuentes de contaminación como las víctimas de ésta.

Otro de los principales obstáculos con que se tropieza es que los límites del porcentaje de agentes contaminantes se solapan unos con otros (como el caso de la destilación de petróleos), de manera que es muy difícil determinar exactamente su cantidad; éste obstáculo se agudiza más cuando tratamos de estudios en vegetales, pues a éstas superposiciones se agregan los elementos absorbidos del suelo, que puede a su vez estar contaminado e inducir a error.

QUESTIONES A TENER EN CUENTA EN LOS ESTUDIOS GENERALES

1º En cuanto a la biosfera:

- a) El equilibrio de la composición gaseosa de la atmósfera.
 La producción cada vez mayor de anhídrido carbónico debido a la utilización de combustibles fósiles (carbones y petróleo).
- b) El equilibrio del balance hídrico a escala mundial.
- c) Zonas tampón contra las contaminaciones.
- d) El equilibrio de los ecosistemas artificiales conseguido rodeando éstos con ecosistemas estables.

2º En cuanto a las comunidades biológicas:

- a) La conservación del capital natural actual, compuesto por las especies

naturales y los animales salvajes; en España éste problema se agudiza por la peculiarísima geografía, clima y en general a causa de la diversidad de medios ambientes según la región de que se trate; afortunadamente, en éste país, la riqueza biológica es privilegiada.

- b) Conservación del capital natural potencial, es decir, patrimonio hereditario, y constitución de «bancos de genes».

3º En cuanto al bienestar del hombre:

- a) Equilibrio físico y psíquico de las poblaciones humanas.
- b) El turismo; hay que tener en cuenta que éste aspecto va tomando un incremento cada vez mayor sobre todo en zonas cercanas a las ciudades (turismo de fin de semana). A esto colaboran el aumento cada vez mayor del tiempo libre del hombre y su necesidad de aprovecharlo para una evasión de su medio normal de vida y una vuelta al contacto directo con la naturaleza.
- c) Aspecto socioeconómico.

4º En cuanto a las condiciones meteorológicas del lugar:

En España éste punto es muy particular, pues se encuentran en la Península Ibérica hasta seis tipos de clima, o sea, casi la escala completa.

5º Un papel fundamental lo ejercen los bosques suburbanos:

Estos los debemos clasificar en rangos o cinturones según la proximidad a las ciudades y según la intensidad de uso por la población.

En éste trabajo no tendremos en cuenta el papel de la vegetación como cortina contra los ruidos.

6º En cuanto al punto de vista arquitectónico:

La mayoría de los trabajos urbanísticos tienden a modelos de expansión discontinua, esto es, a la población urbana formada a base de núcleos separados por espacios verdes debiendo éstos conservar el aspecto más natural posible.

En general, la contaminación del aire no afecta todavía más que al centro de algunas ciudades y a los alrededores de algunas industrias pero el urbanismo vertical, la creación de amplias zonas indus-



triales, la desaparición de zonas verdes que ejercían funciones depuradoras, amplían los riesgos a los cuales se añaden a menudo condiciones meteorológicas adversas. Habría que tener en cuenta también la contaminación debida a la energía nuclear a causa de accidentes, pero esto no es objeto de nuestro trabajo.

7º Uno de los puntos de vista más importantes, bajo el cual hay que analizar la lucha contra la contaminación, es el económico. En U.S.A. la contaminación ha alcanzado un estado tan avanzado que la tecnología, aisladamente, es impotente para detenerla. La única solución consistiría en la utilización y aprovechamiento total de los restos de combustiones y transformaciones mediante programas conjuntos de los diversos sectores de actividad con costes de órdenes de magnitud de miles de millones de dólares y comprendería las siguientes acciones:

- Conseguir que la industria se responsabilice mucho más de los gastos de tratamientos de residuos para disminuir las cargas públicas.
- Aplicar mediante la tecnología remedios para disminuir la contaminación.
- Sensibilizar la opinión pública para que tome conciencia del peligro y esté dispuesta a aceptar las cargas públicas y privadas que exija la lucha contra la contaminación.

8º Aspectos geopolíticos:

En general, en los países del Este, donde la mayoría de la propiedad, es del Estado, hay más facilidades para organizar cinturones verdes y zonas de protección; debido a esto, la concepción arquitectónica de las ciudades tiende mucho más a mantener el equilibrio del medio ambiente; el caso típico es el de la ciudad de Volgograd, en U.R.S.S. En Japón al urbanizar una región industrial (distrito de Osaka) se han tenido en cuenta todos los conocimientos actuales en materia de saneamiento del aire.

Hay que tener siempre en cuenta que los agentes contaminantes pueden ser transportados a grandes distancias, y, por consiguiente, las superficies en planificación deben incluir regiones geográficas lo más amplias posibles. Por esto F. Chipounov habla de las repercusiones que tiene la actividad del hombre en la biosfera, tanto en la superficie, como en la atmósfera donde se descargan enormes cantidades de gases, aerosoles y vapores. Continúa Chipounov estudiando la energía térmica elaborada artificialmente y admite en algunos aspectos que dentro de cien años habrá que expulsar fuera de los límites de nuestro planeta el sobrante de calor así creado.

Los países más amenazados por la contaminación son Alemania Occidental y Japón; esto se ha comprobado con las fotografías tomadas de la tierra por la misión Apolo VIII, en las que se demuestra que no es la región de Los Angeles la más contaminada del mundo, sino las zonas Tokio-Osaka y cuenca del Ruhr.

ORIGEN DE LAS CONTAMINACIONES DEL AIRE MAS IMPORTANTES

1º Contaminación de origen natural:

En la atmósfera hay, además de los constituyentes normales, sustancias provenientes de fuentes muy diversas: polvo, sales marinas, sustancias microbianas, etc.

Los incendios de bosques producen grandes cantidades de núcleos de condensación que originarán poluciones en el aire.

Las brumas marinas introducen sales en la atmósfera, principalmente compuestos de ClNa , Cl_2Mg , Cl_2Ca y KBr ; el viento puede transportar las brumas hacia el interior.

La contaminación vegetal más conocida es la provocada por el polen.

2º Contaminación debida a los transportes:

— *Automóviles.* — La naturaleza de los productos difiere según el tipo de motor. Entre los productos comunes están el óxido de nitrógeno, anhídrido sulfuroso e hidrocarburos. Los motores de explosión producen además plomo, cloro y fósforo. Los motores Diesel emiten partículas de carbono muy finas.

Influye también la naturaleza del carburante según la refinería que lo trate así como el sistema de circulación; un vehículo circulando rápidamente ventila y barre el aire, estimulando una mayor difusión del CO.

— *Ferrocarriles.* — En España estamos en un período de transición de tracción de carbón a tracción eléctrica y Diesel y por tanto es una fuente de contaminación en evolución con sentido positivo.

— *Buques.* — Es una contaminación local (alrededores de los puertos).

— *Aviones.* — Es una contaminación intensa pero de corta duración.

3º Contaminación debida a combustiones en instalaciones fijas de uso doméstico y artesano:

Es el principal problema de las ciudades. La principal fuente son las calderas industriales y de calefacción. Toda clase de combustibles pueden ser quemados en teoría totalmente pero esto no ocurre nunca y así se encuentran en los gases de las combustiones:

- Anhídrido carbónico: no es nocivo pero altera la composición natural del aire.
- Óxido de carbono: muy tóxico pero con fácil difusión.
- Ácidos y aldehídos.
- Anhídrido sulfuroso: se transforma en anhídrido sulfúrico, que en presencia de agua puede formar ácido sulfúrico.
- Óxido de nitrógeno.
- Hollines.
- Humos: son filamentos o placas generalmente ácidas; a veces son granos de carbón.

4º Contaminación debida a residuos de industrias:

- Siderurgia: stocks de materias primas, cribado, altos hornos (SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Cok , K_2O , PbO , ZnO , Na_2O), hornos Martin.
- Industrias de metales no férricos: fundiciones de plomo, cinc y cobre.
- Fábricas de arseniuro de cobalto.
- Fábricas de cemento.
- Industrias de fertilizantes: puede producirse fluor al concentrar el ácido fosfórico.
- Fábricas de gas.
- Industrias del petróleo: emiten óxidos de azufre, óxidos de carbono, óxidos de nitrógeno, ácido sulfhídrico, hidrocarburos ligeros, volátiles o pesados, mercaptanos y partículas sólidas.

AGENTES CONTAMINANTES MAS COMUNES

a) *Dióxido de carbono:* La cantidad absoluta que se emite a la atmósfera es muy importante, y por tanto, su cantidad media va en aumento rápido. Esto podría explicar el recalentamiento de zonas cercanas a centros de población.

b) *Dióxido y trióxido de azufre:* El azufre pasa a la atmósfera después de la combustión bajo forma de SO_2 . El problema está en que el dióxido puede transformarse en trióxido y éste, mediante la humedad, puede formar aerosoles de ácido sulfúrico, causantes de los accidentes de Donora y Londres.

c) *Acido sulfhídrico:* Aparece en zonas muy próximas a sus fuentes acompañado de mercaptanos.

d) *Hidrocarburos:* En la atmósfera de las ciudades se originan por evaporación de productos petrolíferos de los depósitos de los vehículos, pero su principal fuente es la combustión incompleta del carburante de los motores; las olefinas originadas en el cracking de hidrocarburos naturales al pasar a alta temperatura por los cilindros del motor son una causa del smog oxidante.

e) *Monóxido de carbono:* Se origina en combustiones incompletas de sustancias orgánicas. Su fuente principal son los escapes de los vehículos; el monóxido de carbono se emite a ras del suelo y se difunde rápidamente en la atmósfera, parte espontáneamente y parte gracias al movimiento de aire originado por el desplazamiento de los vehículos. Todo esto nos indica que hay problemas tóxicos para la vegetación de pequeña talla (herbáceas y algunos matorrales).

f) *Aldehídos:* Se forman en escapes de vehículos y en la oxidación de hidrocarburos en general.

g) *Nitratos de peracilo:* Su presencia en la atmósfera se comprobó por primera vez en Los Angeles y aumenta en los períodos de inversión.

Los nitratos de peracetilo son el «PAN» y es éste el principal responsable de los daños causados en la vegetación por el smog oxidante de California.



Claude Verdet.

h) *El fluor*: Son las fábricas de aluminio las que contaminan la atmósfera de fluor. En España empieza a existir una pequeña contaminación en la región de Avilés pero afortunadamente no tiene las proporciones que en otros países.

i) *El plomo y sus derivados*: Sus óxidos provienen de las industrias que lo refinan o al pulverizarse el plomo tetraetilo que se añade a los combustibles por sus propiedades antidetonantes.

j) *Agentes contaminantes derivados de fenómenos meteorológicos*: Incluimos éste aspecto por ser un factor fundamental en las condiciones ambientales de cualquier zona en que se haga un estudio de la contaminación atmosférica; el viento es un componente meteorológico esencial, aunque hay que tener en cuenta también las radiaciones solares y las precipitaciones.

En las ciudades, el fenómeno que más interviene en la elevación del porcentaje de contaminación, es la inversión de temperaturas, debida a causas muy variadas, lo cual provoca a menudo el descenso de las capas inmediatamente superiores de la atmósfera y su estabilización durante varios días, concentrándose las sustancias nocivas en las zonas inmediatas al suelo; en las zonas urbanas, las inversiones son más agudas, porque se perturba también el gradiente vertical por la producción térmica, influyendo el relieve de las construcciones.

Por regla general, las capas contaminadas no se elevan demasiado sobre las ciudades, por lo que si se construyen escapes a una altura suficiente pueden evitarse las incidencias y concentraciones de humos debidas a las inversiones; ésto en cuanto a chimeneas se refiere. En los valles se producen inversiones con más frecuencia; si persiste la inversión, el vapor de agua atmosférico llega a alcanzar una temperatura menor a la de condensación apareciendo entonces la niebla, que lleva consigo gran cantidad de agentes contaminantes (típico caso lo encontramos en el smog de Londres).

Por ello cuando se sitúan zonas industriales cerca de zonas urbanas, sería necesario realizar un estudio completo de la rosa de los vientos y muy particularmente de la climatología de cada gran edificación.

Podemos citar también, entre otros fenómenos meteorológicos, el de la captación de humedad por el trióxido de azufre formando gotas de ácido; normalmente, se forman núcleos de condensación y se favorece la aparición de lluvias que lavan la atmósfera con un efecto beneficioso en las zonas donde haya emisiones de SO_3 .

Por último, debemos tener presente la topografía de la zona y la distribución de los inmuebles ya que se producen torbellinos de viento y microclimas que afectan a la contaminación.

Como excusa de lo escueto de algunas explicaciones, el lector debe tener en cuenta que éste es un trabajo de vulgarización y por ello no nos hemos extendido sobre las materias enumeradas anteriormente.

POSIBLE DEFENSA CONTRA LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA MEDIANTE LA VEGETACIÓN

Empezaremos dando una serie de opiniones de los más conocidos especialistas sobre la materia:

1º J. A. TERNISIEN: *Les Pollutions et leurs effets*.

Se pueden utilizar los vegetales como indicadores de peligrosidad. Así mismo se emplean los vegetales para la investigación de sus sistemas enzimáticos en los casos en que sean similares a los del hombre.

Hay estudios de indicadores por métodos fotogramétricos sobre bosques de *Pinus strobus* en Oak Ridge.

2º P. CHOVIN, A. ROUSSEL: *La Pollution atmosphérique*.

Se pueden utilizar como indicadores biológicos. Como ejemplo podemos citar la desaparición del líquen de las piedras en Belfast si la cantidad de SO_2 es mayor de 1 mg/m₃.

3º E. HOWARD: *Las ciudades del «mañana»*.

Letchworth (Ingl.) es un ejemplo típico de ciudad jardín.

4º B. MARXS: *Azoteas-jardín*; J. BOIX: *Urbanismo*.

Los vegetales airean, solean y sanean física y químicamente las ciudades.

5º *Vigilancia sobre el ambiente en Londres*.

Se ha comenzado a partir de 1920: al ser segada la hierba en un parque próximo al aeropuerto de Londres se formaron en el aire nubes de polvo oscuro cuyo análisis reveló que estaban formadas por esporas de hongos que traían los aviones y que eran retenidas por las hierbas del parque; éste caso lo citamos como puramente anecdótico pues es el primero que se señala sobre una ciudad.

6º J. P. DETRIE: *La Pollution atmosphérique*.

— En Alemania se ha observado la posibilidad de desarrollar una vegetación especial de intercepción que absorba los agentes nocivos lo cual se utilizará como medio de protección del resto de la flora.

— En E. U. hay reglamentos por los que se deben establecer de forma permanente zonas tampón o cinturones verdes entre zonas de gran industrialización y zonas residenciales, siendo la anchura de éstos de 30 m en las ciudades y de 150 en las zonas rurales.

— En U.R.S.S. éste principio está mucho más desarrollado; las normas exigen que las fábricas que son fuente de contaminación estén situadas bajo el viento de las zonas residenciales y separadas de ellas por zonas, plantadas preferentemente de especies resistentes a la contaminación; éstas zonas no deben servir como parques públicos. Las técnicas de creación de zonas tampón, se pueden aplicar en dicho país gracias a los principios de dirección estatal. Como ejemplo

clásico podemos citar la reconstrucción de Stalingrado; ésta ciudad se ha construido en dos sectores orientados paralelamente respecto a la dirección dominante del viento, divididos en zonas, con la zona primera cubierta de parques, la zona segunda residencial, a continuación las zonas tampón y por último el sector industrial y las instalaciones ferroviarias.

— En Francia también hay una reglamentación. En las ciudades medias la planificación es más fácil: Mourenx ha sido construida sobre una colina fuera de la dirección dominante del viento y teniendo en cuenta los cinturones verdes; Firminy es una ciudad industrial en la que se instaló una zona verde separando el sector industrial del residencial.

En general, los espacios verdes sustraen zonas a las fuentes de emisión, favorecen la dispersión y neutralizan y absorben en cierta medida algunos agentes nocivos como el SO_2 y el CO. Está comprobado, por medio del azufre radiactivo, que la vegetación, en una atmósfera contaminada, puede fijar e incluso metabolizar el SO_2 . Como ejemplo citemos que 0,10 mg de SO_2 por m², se depuran totalmente al atravesar a una velocidad menor de 25 km/h un cuadrado de una Ha situado en un bosque de hayas; sin embargo, en cuanto al anhídrido carbónico no es tanta la eficacia. Respecto a las bacterias, parece ser que si la vegetación es suficientemente densa, realiza el papel de un verdadero filtro, como se ha comprobado en el parque Montsouris y en el Campo de Marte de París.

Se ha observado también que los vegetales fijan de 3 a 6 veces más cantidad de polvo en las mismas condiciones de tiempo, lugar, superficie y contaminación que las superficies desnudas. El punto de saturación de polvo es alcanzado raramente por las hojas, debido a que las limpian las lluvias o si se trata de praderas, debido a su cuidado y mantenimiento. El polvo más voluminoso, que normalmente sedimenta en función de su masa, encuentra una verdadera cortina constituida por las hojas, pudiendo ser ésta de varias decenas de m² para una superficie en el suelo de 1 m². Toda esta acción tiene ciertos límites, pues si la contaminación es excesiva, las plantas no logran desarrollarse y por tanto no pueden desempeñar su función.

7º Von HAUT y STRATMANN:

Demostraron que, los abetos sometidos a emisiones de SO_2 , en primavera tenían las hojas del año anterior dañadas, mientras que las nuevas estaban inmunes, lo que implica que asimilan SO_2 en cantidad apreciable si la superficie es grande, aunque debilitándose.

8º *Ente Nazionale Idrocarburi (Italia)*.

Las sustancias sólidas se depositan según:

a) Estructura del limbo.

b) Especie.

c) Características meteorológicas.

Las sustancias sólidas hacen que disminuya la respiración en la fotosíntesis, pudiendo ser inertes (arrastradas) ó activas.

Si el polvo sólido es alcalino, aumentará el pH, lo que quiere decir que morirán las especies acidófilas.

9º *Wentzel*.

El bosque es un filtro y sedimenta el polvo en suspensión.

10º *Cvrkal*.

Las especies a desarrollar deberán tener características químicas asociadas a un poder tampón al gas de que se trate.

11º *A nuestro juicio*, por manifestarse en general, las consecuencias de la contaminación atmosférica, a largo plazo, hasta ahora sólo se le ha dado una importancia secundaria, sin detenerse a constatar que podemos llegar a una verdadera esterilización del suelo. Vemos por tanto claramente que los vegetales están amenazados por la evolución de nuestra forma de civilización; siendo a fin de cuentas los seres humanos los que recibimos el perjuicio derivado de la falta de atención dedicada a las contaminaciones tanto del aire como de aguas, suelos y en general del medio ambiente.

EL PROBLEMA EN ESPAÑA

Las formas de lucha contra la contaminación del aire son harto conocidas en líneas generales: promulgación de nuevas leyes, reglamentaciones más severas, sanciones elevadas, más iniciativas de Ayuntamientos y Corporaciones Provinciales, incremento de las actividades en este sentido de Organizaciones Internacionales, ayuda a las Asociaciones que presten interés al tema, aumento en forma acelerada de los fondos del Erario Público consagrados a este fin, obligación de los causantes de contaminaciones del medio ambiente a buscar soluciones, a financiar investigaciones, etc.

En España se ha empezado a tomar conciencia de la necesidad inmediata de actuar en las direcciones citadas.

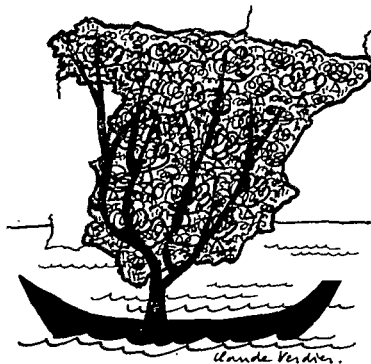
Como hemos dicho anteriormente, la variedad de climas origina condiciones muy diferentes en cada zona de nuestro país:

1º Las regiones y ciudades del Norte, como Vizcaya (Bilbao, Sestao, Baracaldo, etc.), Asturias (Gijón, Oviedo, Avilés, etc.) y Guipúzcoa (San Sebastián, Rentería, Irún, etc.), a pesar de ser zonas muy contaminadas por sus industrias, tienen la ventaja de estar situadas en zonas marítimas y por tanto las brisas diarias de tierra y mar respectivamente hacen un efecto de barrido de la atmósfera e impiden las inversiones de temperatura, no siendo por ésto muy corrientes los casos de inmovilidad de la capa de aire contaminado en contacto con la población y las plantas. A atenuar los efectos de la contaminación contribuyen las lluvias frecuentes de la región. Por estas razones la vegetación sólo se ve afectada en zonas muy inmediatas a las fuentes contaminantes. Los hollines y otras partículas sólidas son los agentes más nocivos. Los bosques de frondosas todavía no sufren demasiado la contaminación por ser en general muy resistentes. Las resinosas tampoco han resultado perjudicadas

excepto quizás, y esto en grado mínimo, por ser poco resistentes, los *Pinus radiata* D. Don de repoblaciones muy próximas a ciertas industrias y minas de carbón.

2º En el litoral mediterráneo, el clima es templado con estación estival acentuada y por tanto con varios meses sin lluvias beneficiosas. Barcelona y sus ciudades próximas son las zonas más afectadas, sobre todo en los meses de verano. Las brisas son menos intensas y sus efectos deseables son también menos notorios. Los bosques de coníferas circundantes están ligeramente dañados, no ocurriendo lo mismo en el caso de las frondosas. El peligro es, sin embargo, mucho mayor para la población que para la vegetación lo mismo que en las ciudades de Gijón, Bilbao y Madrid concretamente.

Por el contrario en Valencia y sus alrededores, la vegetación está más perjudicada por las secuelas de nuestra civilización. Los cultivos agrícolas están sumamente afectados: naranjos, limoneros, arrozales, sufren las consecuencias de insecticidas, anticriptogámicos, herbicidas, residuos de excursiones, campings, etc.



3º Por último, en la región central, es Madrid la zona más deteriorada. Es imposible enumerar sucintamente los problemas que crea la contaminación en esta ciudad. Su clima continental, sus calmas meteorológicas de los meses de mayo y octubre y su orientación según un eje perpendicular al sistema montañoso más próximo, hacen que los vientos procedentes del Sistema Central no lleguen siempre a las zonas industriales con la intensidad deseada, y por eso, el eje Cibeles-Atocha Legazpi-Villaverde es el más contaminado y con intensidad creciente. La vegetación ciudadana está muy afectada; a simple vista se observan los macizos de *Nerium oleander* L. de las vías de circulación intensa con una capa de polvo, humos y partículas en su superficie, pudiéndose ver con el microscopio, que tienen sus estomas casi cerrados y con toda clase de agentes contaminantes: SO₂, CO, CO₂, plomo, etc.

Los *Pinus halepensis* Mill de algunas vías públicas se mantienen en un estado de vida muy precario, pues, como coníferas de hoja persistente, tienen muy poca defensa contra la contaminación al acumularse sobre ellas los agentes nocivos durante todo el año.

Se han realizado estudios en esta ciudad, sobre los niveles de contaminación en las distintas zonas urbanas a partir de sep-

tiembre de 1970. Los parques públicos están afectados, siendo conveniente observar que su vegetación interior está más protegida, pues hay mucha mayor sedimentación en las plantas limítrofes del parque al estar en contacto más próximo con las zonas de circulación de vehículos.

En España en general, se deberían utilizar especies adecuadas a su función y a las condiciones que deban soportar. Las frondosas son convenientes en las zonas urbanas y sobre todo en las suburbanas, aspecto este último que no se ha tenido en cuenta todavía. Se pueden hacer selecciones de especies según la localización de las zonas contaminadas:

a) *En la región Norte*, en zonas suburbanas, se podría repoblar con las resinosas siguientes: *Castanea sativa* Mill, *Salix babilónica* L., *Populus nigra*, *Betula alba* L., *Quercus sessiliflora* Salisb, *Acer pseudo-platanus* L., *Acer platanoides*, entre las frondosas y con *Larix decidua* Mill, *Taxus baccata* L., *Pinus nigra* Arn y *Abies alba* Mill.

b) *En la región mediterránea*.

Quercus sessiliflora Salisb, *Alnus incana*, *Ulmus montana* Sm, *Populus nigra*, *Populus alba*, *Platanus orientalis* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Tilia tomentosa*, *Sophora japonica*, etc., en cuanto a frondosas y *Taxus baccata* L., *Thuja*, *Juniperus*, *Chamaecyparis lawsoniana*, etc., en cuanto a resinosas, pudiendo utilizar en general frondosas que soporten la sequía y arbustos espinosos.

c) *En la zona central*.

Entre las frondosas: *Quercus sessiliflora*, *Ulmus montana*, *Platanus orientalis*, *Robinia pseudoacacia*, *Sophora japonica*, *Gleditschia triacanthos*, etc.

Entre las resinosas: *Taxus baccata*, *Thuja*, *Juniperus*, *Quercus ilex* y además arbustos y herbáceas como los *Cornus sanguinea*, *Berberis vulgaris*, *Crataegus*, *Cotoneaster*, *Ligustrum*, *Lonicera*, *Sambucus*, etc.

EFFECTOS DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LAS PLANTES

En los apartados anteriores hemos hecho un análisis muy general de los problemas que origina la contaminación atmosférica sobre las plantas para poder comprender con cierta base las explicaciones que siguen a continuación que son realmente el fondo de este trabajo.

El tema es mucho más complejo de lo que pudiera parecer a simple vista, pues, como hemos visto al principio los efectos se solapan unos con otros y a su vez hay que deslindarlos de las consecuencias de la contaminación (que también puede ser de origen atmosférico) que se origina en las absorciones radicales del suelo.

Conviene señalar antes de adentrarnos en las consecuencias de la acción de los diversos agentes contaminantes, sobre todo en especies forestales, que la vegetación herbácea, y, dentro de ésta las herbáceas vivaces, es mucho más sensible a cualquier variación de su «status» de vida.

1º Dióxido de azufre.

Ha sido éste considerado siempre como la causa fundamental de los daños causados por la contaminación sobre la vegetación. La cantidad absorbida varía con el estado y edad de las hojas, penetrando por los estomas incluso en dosis muy débiles. En las acículas de los pinos se extiende un color rojo oscuro a partir de la base de las hojas extendiéndose con mayor o menor rapidez según la intensidad de la intoxicación. El *Pinus nigra Arn.*, al tener cutícula en la base de las acículas, es la conífera más resistente. Von Haut y Stratmann han comprobado que en algunas especies se dañan más las hojas viejas que las jóvenes.

Rohmeder demuestra que a mayor asimilación de anhídrido carbónico, es más dañino el dióxido de azufre.

Wentzel opina que son más sensibles los vegetales de crecimiento rápido.

Según Keller el *Pinus halepensis* no asimila el SO₂.

a) Síntomas.

Si la intoxicación es aguda, las superficies marginales de las hojas están empapadas de agua y toman un color muerto oscuro.

Si la intoxicación es crónica, hay una decoloración con destrucción de la mayor parte de la clorofila y carotenoides; se provoca una caída precoz.

En cuanto a las coníferas, los datos de SO₂ en partes por millón (p.p.m.), son los siguientes:

- 20 p.p.m., mueren en pocas horas,
- 10 p.p.m., daños agudos en coníferas y frondosas,
- 1 p.p.m., si es prolongado, hay daños crónicos,
- 0,20 p.p.m., es la concentración tóxica mínima según Katz, Keller, Muller y Von Haut.

En general, la intoxicación origina una menor asimilación, teniendo las nervaduras más resistencia; hay lesiones invisibles y disminuye la velocidad de la fotosíntesis.

Veamos ahora la opinión de diferentes investigadores sobre las consecuencias de dicha intoxicación:

Haseloff: el dióxido de azufre reacciona con aldehídos y al sumarse los azúcares se transforma en ácido sulfuroso y en ácido sulfúrico.

Noak: el dióxido impide la actividad catalizadora del hierro de los cloroplastos en el proceso de asimilación.

Grull: el dióxido origina feofitina (color oscuro).

Haussler: el As O da mayor toxicidad al dióxido de azufre.

Wentzel: el dióxido de azufre da menos resistencia a parásitos y agentes abióticos dañinos.

Pelz: provoca una menor fructificación.

Themiltz: tratando el terreno convenientemente con fertilizantes, habrá en general más potasio y más magnesio luego habrá más poder neutralizador, lo que implica que a su vez habrá mayor resistencia por el poder tampón que dichos elementos imprimen a los tejidos.

Cvrkal: la *Picea excelsa* es muy resistente al dióxido de azufre.

Algunos autores consideran que la toxicidad del dióxido se debería más a sus

propiedades óxido-reductoras que a su acidez.

En conclusión, las especies a desarrollar deberán tener características químicas asociadas a un poder tampón del gas en cuestión.

b) Diagnóstico.

Estudio de la atmósfera.

Estudio de las clorofilas a y b (Muller).

Estudio del contenido en hierro de la clorofila.

Estudio del pH del suelo.

Estudio de la intensidad de la fotosíntesis.

2º FH. Si F. Si FH.

Se originan en las industrias del vidrio, esmaltes, acerías, cerámicas, fábricas de aluminio, plantas de superfosfatos, fábricas de cerillas y refinerías de petróleo. Son compuestos muy tóxicos, sobre todo en las proximidades de las fuentes. Donde hay además dióxido de azufre se une la toxicidad de ambos agentes contaminantes y se superponen sus consecuencias

3º Mercaptanos y otros compuestos orgánicos sulfurados.

Se producen en las industrias químicas, plantas de combustión, mataderos y tene-rías. Sus daños son esporádicos, y los efectos están localizados en la proximidad de las fuentes. Pueden agudizar los perjuicios producidos por el dióxido de azufre, o por el FH, o bien superponerse a ellos.

4º Gas de alumbrado y acetileno.

Se origina principalmente en las tuberías defectuosas; su influencia solo se manifiesta en el sistema radical de las plantas y sus daños en la vegetación ciudadana son muy localizados.

5º Efectos de las sustancias sólidas.

Estas sustancias son partículas de carbón, sustancias incombustibles variadas y sustancias provenientes de procesos industriales: cemento, polvo metálico, etc. Se depositan sobre la vegetación en cantidad variable según la estructura del limbo foliar, según la especie, y según las características meteorológicas y topográficas de la zona. Actúan como sustancias inertes o activas, dependiendo de la facilidad que tengan para ceder, por solubilización o volatilización, sustancias tóxicas a los tejidos vegetales con que entren en contacto. Los daños son detectables rápidamente al reducirse la actividad vegetativa y disminuir la fotosíntesis y la respiración. Si hay una emisión continua de polvo alcalino, habrá un aumento del pH que provocará una alteración peligrosa para la supervivencia de las especies acidófilas; en los alrededores de fábricas de cemento, por ejemplo, hay ciertos límites a partir de los cuales no hay posibilidad de repoblación artificial o natural.

Las coníferas no pueden desarrollarse en zonas donde se depositen más de 30 Tm de sustancias carboníferas por Km² y año.

El cemento es el elemento sólido que mas daño hace a la población forestal. El polvo de cemento forma una costra espesa sobre el haz de las hojas impidiendo los intercambios gaseosos, fotosíntesis, etc.,

por haberse alterado los cloroplastos. Al ser el pH de éste polvo muy elevado (entre 8 y 12), se favorece la solubilización de los hidroxiliones, los cuales actuarán negativamente sobre los tejidos vegetales, y, por ser asimismo la concentración de la solución externa elevada, se originarán fenómenos de plasmolisis que el autor ha observado mediante cortes histológicos en los que se aprecia que las lenticelas de las zonas corticales expuestas a la emisión están obstruidas, reduciéndose poco a poco los intercambios gaseosos de las plantas. El autor ha comprobado también que se produce en las plantas jóvenes, una importante disminución en el tanto por ciento de materia seca.

Como colofón a este artículo diremos que los estudios anti-contaminación no se deben reducir a trabajos aislados sino que necesariamente han de formar parte de un todo conjunto.

Es una tarea común a todos los países y que afecta a todos los sectores de la investigación agraria y no agraria: la protección de la fauna y la flora pirenaica hispano-francesa, el tratamiento de las aguas del Rin, etc.

Desde el punto de vista vegetal todos estos problemas no se deben acometer con la intención de salvar un obstáculo más o menos amplio momentáneamente, sino que debemos habituarnos a la idea de que las soluciones han de pasar por el tamiz de unas investigaciones agrarias permanentes, progresivas y dinámicas que han de adaptarse a la evolución de las consecuencias de nuestros sistemas de vida.

Son los vegetales, como hemos indicado anteriormente, los seres más directamente amenazados por la contaminación de las capas inferiores de la atmósfera y hemos de tener siempre presente que, en toda serie ecológica, la rotura de algún eslabón implica la desconexión total de la cadena y una amenaza directa contra nuestra existencia.

BIBLIOGRAFIA

- CHAUVIN (P.) et ROUSSEL (A.). — La pollution atmosphérique, Paris, 1968.
- TERNISSEN (J. A.). — Les pollutions et leurs effets, 1968.
- CONROY (R. J.). — The effects of air pollution on vegetation, Sidney, 1962.
- First european congress on the influence of air pollution on plants and animals, Wagenigen, 1968, 27, 4.
- Revue forestière française, 1968, IV.
- ZUBER (R.), BOVAY (E.), TSCHANNEN (W.). — Station Fédérale de Chimie Agricole de Liebefeld-Berne.
- RUTHNER. — Industrieanlagen für Pflanzenbau Gesellschaft M.B.H., Wien, 1970.
- TRANQUILLINI (W.). — Forstliche Bunsversuchsanstalt, Innsbruck, 1970.
- O.C.D.E. — La pollution atmosphérique dans la sidérurgie, Paris, 1963.
- PELLETIER (J.). — Revue de la pollution atmosphérique, 1964, 22, 166.
- TAFT (R. A.). — Air pollution training, Cincinnati, 1963, 230.
- Mitsubishi Heaby Industries Ltd, Nagoya, 1970.
- DETRE (J. P.). — La pollution atmosphérique, Paris, 1969.
- BETOLAUD (Y.). — Adaptation de la Forêt aux besoins de la civilisation urbaine, décembre 1968.
- NOVAKOVA (E.). — Sabelkoppel Grün in Prague, 1970.
- CHIPOUNOV (F.). — Revista Priroda, Moscú. Les nuisances industrielles, Paris, 1970, nº 2.