

Vegetación

Ma. de Lourdes de la Isla de Bauer

Los daños que produce la contaminación atmosférica se observaron y confirmaron antes en plantas que en humanos y animales.



EL SER HUMANO comenzó a alterar el medio ambiente a partir de los descubrimientos del fuego, la agricultura y la ganadería. Sin embargo, no contaminó seriamente la atmósfera hasta el inicio de la era industrial, a mediados del siglo XIX; a los gases y partículas productos de la industria se empezaron a sumar, pocas décadas después, las emisiones de vehículos de motor.

Las lesiones en la vegetación cercana a las fábricas fueron notorias desde finales del siglo XIX. Julius von Schroeder y Carl Reuss investigaron los daños observados en los bosques cercanos a Hannover, Alemania, de 1883 a 1893, y concluyeron que se debían a las emisiones industriales. Ese estudio fue el inicio de una serie de investigaciones sobre el efecto del bióxido de azufre en la vegetación, el primer gas que se identificó como perjudicial para los bosques. Posteriormente se demostró que el bióxido de azufre, el flúor y los fluoruros,

vulnerable



también resultado de la actividad industrial, causaban daños muy graves en cultivos y bosques de Europa central y del este de los Estados Unidos.

Puntitos peligrosos

En 1944 se detectaron en el área de Los Ángeles, California, alteraciones en ciertas plantas, asociadas a la presencia de contaminantes en la atmósfera. Algunas hojas tenían puntitos en la parte superior, o bien adquirían un color bronceado o plateado en el envés. Para 1950, este tipo de síntomas ya era frecuente en el sur de California y en el área de la Bahía de San Francisco. El compuesto responsable de las lesiones en forma de puntitos resultó ser el ozono, cuya

toxicidad en los vegetales se había confirmado desde 1914. Las alteraciones en el color del envés de las hojas se atribuyeron a otro gas, que se creía que se formaba a partir del ozono y de una mezcla de dióxido de nitrógeno e hidrocarburos. En una serie de experimentos que se llevaron a cabo en 1960, se identificó, sin embargo, un nuevo compuesto tóxico inestable y de manejo difícil, el nitrato peroxiacetílico, que era capaz de producir estos daños en el envés. Este compuesto se encuentra en atmósferas urbanas como las de Los Ángeles y la zona metropolitana de la Ciudad de México en cantidades apreciables.

El nitrato peroxiacetílico es un producto de la reacción del oxígeno atmosférico con el dióxido de nitrógeno emitido por los vehícu-

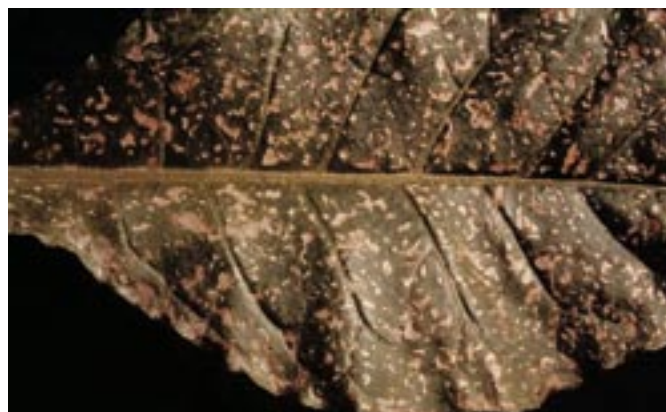
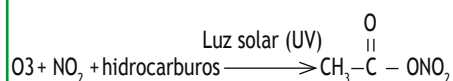
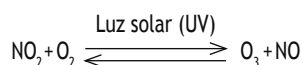
los de gasolina en presencia de la luz solar; otro compuesto que resulta de esta reacción es el ozono. La toxicidad del dióxido de nitrógeno para las plantas fue confirmada posteriormente, pues es difícil de detectar y sólo en concentraciones elevadas produce síntomas visibles.

También el etileno puede constituir una impureza frecuente en la atmósfera. El etileno es una hormona de los vegetales y tiene usos agrícolas, por ejemplo para hacer madurar frutos, pero además se produce por la combustión del gas natural y la fabricación de ciertos compuestos químicos, y es emitido por vehículos de motor. Sus efectos perjudiciales se reconocieron desde el siglo XIX en árboles ornamentales y en orquídeas de invernaderos, en Holanda.

Los fitotóxicos

Los daños que produce la contaminación atmosférica se observaron y confirmaron antes en plantas que en humanos y en ani-

Formación atmosférica de dióxido de nitrógeno, ozono y nitrato peroxiacetílico



Punteado y lesiones en la variedad de tabaco indicadora de ozono Bel W3.

Compuesto	Fórmula	Origen	Síntomas más frecuentes
Dióxido de azufre	SO ₂	Combustión de carbón, fábricas de pulpa y papel. Refinerías.	Colapso de las áreas entre las nervaduras y márgenes. Apariencia acuosa de los tejidos afectados.
Etileno	CH ₂ =CH ₂	Combustión de gas natural y fabricación de ciertos compuestos químicos. Es emitido por vehículos de motor.	Reducción del desarrollo vegetal, decaimiento de las hojas, deformación de las flores y caída de hojas.
Flúor y fluoruros	F ₂ ; CaF ₂ ; NaF	Producto de desecho de las fundidoras, fábricas de vidrio y fertilizantes fosfatados.	Se acumula especialmente en los márgenes foliares. Cuando alcanza altos niveles produce muerte del tejido de los bordes de las hojas.
Ozono	O ₃	Producto de las reacciones fotoquímicas de impurezas aéreas emitidas por vehículos de motor, refinerías y por combustiones industriales.	Puntos blancos en la parte superior de la hoja, llegando a formar lesiones. Pigmentaciones oscuras en modelo punteado. Amarillamiento en manchas o moteado, muerte de las partes afectadas de la hoja.
Dióxido de nitrógeno	NO ₂	Producto de la oxidación fotoquímica del NO. Emitido por vehículos de motor.	Reducción de desarrollo. No hay otro síntoma visible, a menos que las concentraciones sean muy elevadas.
Nitrato peroxiacetílico	$ \begin{array}{c} \text{O} \quad \\ \quad \\ \text{CH}_3 - \text{C} - \text{ONO}_2 \end{array} $	Producto de reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno e hidrocarburos emitidos por vehículos de motor.	El envés de las hojas tiene tintes bronceados o plateados.

males. Por su gran sensibilidad a la contaminación, las plantas se utilizan mucho como sistemas de alarma y biomonitorio. Un ejemplo es el uso de la variedad hipersensible de tabaco Bel W-3 en los estudios de contaminación de la zona metropolitana de la Ciudad de México. Esta planta presenta daño en un 40% de sus hojas si se expone durante cuatro horas a una

concentración de entre 0.08 y 0.10 partes por millón (ppm) de ozono; otras variedades de tabaco no resultan tan afectadas a esas concentraciones que se rebasan casi a diario en la Ciudad de México. Cabe aclarar que el ozono también se produce en forma natural en la atmósfera, pero en este caso su concentración rara vez excede las 0.03 ppm.



Impacto de la contaminación industrial en áreas agrícolas.

Los gases que causan daño a las plantas, o fitotóxicos, penetran a través de las aperturas o estomas. Los más dañinos para ellas son los que ya se han mencionado aquí: dióxido de azufre, etileno, flúor y fluoruros, ozono, dióxido de nitrógeno y nitrato de peroxiacetílico (véase tabla).

Los efectos del ozono en las plantas pueden llegar a tener serias consecuencias económicas para los cultivos de tabaco, soya, frijol, diversas hortalizas y especies forestales. El nitrato peroxiacetílico y el dióxido de nitrógeno afectan también a los cítricos y hortalizas de hoja ancha; el dióxido de azufre daña la alfalfa, el algodón y otras especies forestales. El etileno, como se señaló, afecta a las orquídeas; y el flúor y los fluoruros a gladiolas, azaleas y pinos.

Además de estos gases, hay un gran número de partículas, como polvo de carbón y cemento, que se depositan sobre las partes aéreas de los vegetales. El polvo procedente de fábricas de cemento es responsable del daño en las hojas de árboles y, en casos extremos, ocasiona su muerte. Forma una costra sobre la superficie de la hoja y, si hay humedad libre, la quema por la formación de soluciones alcalinas. Las partículas extremadamente finas de



Indicador de contaminación

cemento obstaculizan la respiración de la planta al depositarse en los estomas. El polvo es un fuerte contaminante en el Valle de México, especialmente en ciertos meses del año, pero sus efectos en las poblaciones vegetales no se han analizado con precisión.

Lluvia ácida

Las emisiones de óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y cloro, procedentes de industrias y de vehículos de motor, pueden sufrir cambios en la atmósfera y transformarse en ácido sulfúrico, nítrico y clorhídrico. Además, las plantas carboeléctricas emiten directamente este último. Al ser acarreados por la lluvia, la neblina o el granizo, estos ácidos dan origen a la llamada lluvia ácida. Ésta tiene un pH inferior a 5.6, que es el pH normal de la lluvia, debido a la presencia de ácido carbónico. A la lluvia ácida se le atribuyen daños severos a los ecosistemas en Norteamérica y Escandinavia. Por otra parte, en experimentos realizados mediante simulación de lluvia ácida, se ha encontrado que el rendimiento de los cultivos agrícolas descende por la pérdida de minerales en los suelos y los daños al follaje.

Los desechos humanos y los compuestos que resultan después de las reacciones en la atmósfera tienden a depositarse en el suelo y llegan a producir una fertilización, en especial con compuestos a base de azufre o nitrogenados, que beneficia a los cultivos en ciertas condiciones. Sin embargo, esta

Entre la gran riqueza forestal de México, tiene un lugar muy importante el género botánico *Pinus*. Hay una amplia gama de especies, alrededor de 60 diferentes. Su madera es de fácil explotación por la relativa rapidez de su crecimiento. A los pinos, en ciertas regiones, se les llama ocotes, como a la porción de ellos que se usa como combustible. Durante la época en que la leña era de uso común se hizo frecuente encender ocote para iniciar fogatas. Esta práctica originó severa deforestación en algunas áreas.



Las especies de pino viven en altitudes muy variadas; desde el nivel del mar hasta a 4000 metros. A esta altitud, y a partir de los 3000 metros, se encuentra *Pinus hartwegii*, la especie más tolerante a temperaturas bajas y que ha poblado por mucho tiempo los picos y montañas más altos que rodean al Valle de México. Esta especie fue nombrada así por John Lindley en 1839, en memoria de Karl Theodor Hartweg, distinguido investigador alemán, quien en 1836 vino a México a coleccionar e identificar plantas.

Desde que se detectó por primera vez la sensibilidad al ozono de los pinos en el monte Ajusco, en 1976, por el moteado clorótico en sus hojas o agujas, esta especie se identificó como la de mayor sensibilidad entre las especies de pino presentes en el valle, equiparable a la de su pariente taxonómico, el famoso pino ponderosa, presente en las montañas de San Bernardino en California, EUA. En México, *Pinus hartwegii* se ha convertido en un indicador de la contaminación por ozono.

fertilización también puede causar graves alteraciones, según lo han comprobado científicos de países nórdicos, pues cambia el ritmo estacional de los bosques y los hace permanecer activos en época de dormancia (reducción de actividad y baja de metabolismo en las plantas), con lo que resienten el efecto de las bajas temperaturas.

Contaminación viajera

En México, el caso más grave de contaminación atmosférica es el de la zona metropolitana de la Ciudad de México, por la que circulan más de cuatro millones de vehículos y donde se ubica buena parte de la industria del país. En la atmósfera de esta zona predominan las partículas y los llamados gases oxidantes, en especial el ozono. Por otra parte, la predominancia de los vientos del norte y noreste hacia el sur

y suroeste sobre la Ciudad de México favorece el transporte de contaminantes hacia áreas arboladas como el Parque Recreativo y Cultural Desierto de los Leones, el monte Ajusco y Xochimilco. En estos lugares se aprecian daños por gases oxidantes que pueden considerarse de importancia económica en pinos, oyamel, avena forrajera y hortalizas.

Pero los altos niveles de contaminación no sólo afectan los lugares en los que se producen, las emisiones gaseosas pueden desplazarse incluso de un continente a otro y al depositarse alterar las características del suelo y del agua. La contaminación atmosférica se comporta, acorde con los tiempos, como problema global. 🕒

La autora agradece al Ingeniero Jorge Hernández López por su estímulo y valioso apoyo técnico en la preparación de este artículo.

Ma. de Lourdes de la Isla de Bauer es doctora en ciencias agrícolas por la Universidad Georg-August de Gotinga, Alemania. Desde 1970 realiza labores de docencia e investigación en el Colegio de Posgraduados de Chapingo.



Bronceado y brillo metálico en hoja de lechuga atribuidos al nitrato peroxiacetílico.