

CONTAMINACIÓN

atmosférica

Y salud

Noé Manuel
Montaño Arias
Ana Lidia
Sandoval Pérez

La contaminación es uno de los problemas más graves a nivel mundial. La creciente urbanización, la industria, la agricultura con excesivo uso de pesticidas y fertilizantes, la deforestación, la producción de energía y los hábitos de consumo han producido una enorme cantidad de sustancias que contaminan el agua, el suelo, la vegetación, la atmósfera y son una silenciosa amenaza para la vida. En particular la contaminación atmosférica es un grave problema de salud pública que enfrentamos día con día y que tiende a incrementar aceleradamente tanto a escala global como regional. Por ello es importante informar a la sociedad sobre este tópico ambiental y tomar medidas para enfrentar este problema que atenta contra la vida. Este artículo resume el efecto que sobre la salud humana ejercen seis contaminantes atmosféricos: plomo, ozono, óxidos de carbono y nitrógeno, hidrocarburos y clorofluorocarburos; y aborda la problemática general de cada uno, tratando con mayor extensión el caso del bióxido de carbono ya que es, probablemente, el más importante y acerca del cual se ha realizado más investigación.

EL CASO DEL PLOMO Y EL OZONO

En los años ochenta, en México la contaminación atmosférica por plomo fue asociada al uso del automóvil. En concentraciones

ÓXIDOS DE CARBONO Y NITRÓGENO

Irritación de ojos, garganta y piel.

Fallecimiento por insuficiencia cardíaca y sofocación.

Disminución de glóbulos rojos y otras enfermedades vasculares y cardiovasculares.

Afectan el sistema respiratorio produciendo asma, bronquitis y enfisema pulmonar, pulmonía, influenza y disminución de la resistencia a enfermedades respiratorias.

Enfermedades microbianas desconocidas, desencadenadas por el aumento de la temperatura.

PARTÍCULAS SUSPENDIDAS

Arteriosclerosis, cáncer, daños a los riñones y ojos.

Micro-partículas atacan el sistema respiratorio, cardiovascular y neurológico.

Obstrucción crónica pulmonar, bronquitis, aumento del asma en niños.

HIDROCARBUROS Y CLOROFLUOROCARBURUS

Tienen propiedades carcinogénicas y destruyen la capa de ozono provocando una mayor incidencia de radiación solar ultravioleta que daña la piel y el sistema inmunológico.

PLOMO

Acumulación en la sangre, cambios histopatológicos como alteraciones de glándulas y queratinización de piel y pelo, cáncer pulmonar, hipertensión arterial, afecciones cardíacas y renales.

DESTRUCCIÓN DE OZONO

Incidencia directa de rayos solares ultravioleta, lo que provocaría daños severos sobre la piel, como manchas, irritaciones e incluso cáncer.

AUMENTO DE OZONO Y OTROS GASES

Respiración profunda y sofocada, sequedad de garganta, opresión y dolor torácico, fatiga, dolor de cabeza y náusea.

En casos más graves, daños pulmonares o daños permanentes al sistema respiratorio.

CUADRO 1. Algunos efectos que ejercen los contaminantes atmosféricos.

elevadas, el plomo puede absorberse a través de la piel o por respiración, se acumula en la sangre, es tóxico y actúa sobre el encéfalo y el sistema nervioso de las personas.^{1,2} Además, al plomo en conjunto con el cadmio y el flúor, ambos de origen industrial, se les ha relacionado con afecciones cardíacas y renales, hipertensión arterial, arteriosclerosis y cáncer pulmonar.¹ Ante este problema, PEMEX sustituyó la gasolina que vendía (con elevada concentración de tetraetilo de plomo) por otra con bajo contenido de plomo (gasolina *magna sin*), reduciendo las emisiones de plomo de 2000 a 150 toneladas anuales. Sin embargo, los oxidantes sintéticos que sustituyeron al plomo en la nueva gasolina también contaminan. Por ejemplo, ellos producen *smog*, el cual ha aumentado la concentración del ozono en la atmósfera a casi ocho veces la concentración atmosférica

natural, provocando en las personas alteraciones en el sistema respiratorio, dolor de cabeza, ardor de ojos e infecciones en la piel.¹

El ozono (O₃) se forma mediante reacciones químicas que involucran la radiación solar y compuestos orgánicos e inorgánicos, algunos de ellos producto de la contaminación. El ozono es la causa principal de cambios histopatológicos tales como la multiplicación excesiva de las células de un órgano o tejido, queratinización de la piel y pelo e inflamación de la mucosa nasal, resultado de respirarlo en elevadas concentraciones.^{1,3} El ozono provoca inflamación en los pulmones y reduce la habilidad del sistema respiratorio para luchar contra infecciones y para eliminar partículas extrañas. En consecuencia, el ozono complica el estado de salud de quienes padecen asma, enfisema o bronquitis crónica. No obstante, también altera la respiración de las personas saludables, causando irritación de garganta y daño permanente a los pulmones. Algunos de los síntomas son: tos, dolor de pecho al respirar, sequedad de garganta, dolor de cabeza y náusea. Debido a que en la atmósfera el ozono absorbe los rayos solares ultravioleta, la destrucción de la capa de ozono por reacciones químicas con otros contaminantes, como los clorofluorocarburos, permite que penetren los rayos ultravioleta, los cuales provocan cáncer en la piel y cataratas en los ojos. La destrucción del ozono está ocurriendo de manera acelerada en todas las latitudes de ambos hemisferios del planeta. Por ejemplo, en el Polo Sur durante los meses de septiembre y octubre, la pérdida del ozono aumenta las radiaciones ultravioleta en 120%, y ha provocado cáncer en la piel y alteraciones en el sistema inmunológico de los habitantes de la zona.^{1,3}

EL CARBONO Y EL EFECTO INVERNADERO

El monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂) provienen de vehículos de motor, combustibles fósiles, quema de vegetación (la deforestación aporta 29% de las emisiones totales de carbono (C), 4.7 x 10¹⁵ gramos de C por año, de los cuales 90% es en forma de CO₂) y de la combustión de toneladas de basura producida. Mundialmente, cada año se emiten a la atmósfera más de 11,000 millones de toneladas de carbono. México emite anualmente 188 millones de toneladas de carbono

(C), es decir cerca de 2% de las emisiones mundiales de gases con efecto invernadero y se ubica como el noveno país en este rubro a nivel mundial.^{5,6} Los gases de invernadero son de origen natural y antropogénico capaces de reabsorber y reemitir la radiación infrarroja a la Tierra. Entre estos gases están el bióxido de carbono y otros como el metano, el óxido nitroso y los clorofluorocarburos. El calentamiento en el planeta es consecuencia de un aumento en la cantidad de estos gases (Figura 1).⁷ Por ejemplo, se pronostica que de no reducir las emisiones de gases invernadero a la atmósfera, la Tierra experimentará un cambio climático global sin precedente, esperando que la temperatura aumente entre 1.4 y 5.8 grados centígrados. Como consecuencia ocurrirían deshielos capaces de aumentar el nivel del mar entre 10 y 88 centímetros y la frecuencia de ciclones y huracanes que provocan destrucción.⁷ Por ejemplo, los glaciares de los Alpes han perdido 50% de su volumen. Esto es importante debido a que más de cien millones de personas viven a un metro del nivel medio del mar. Asimismo, el incremento de la temperatura aumenta el estrés por calor favoreciendo enfermedades como el asma y otros tipos de dolencias respiratorias y cardiovasculares, tanto que en los últimos años se ha encontrado una relación directa entre las temperaturas máximas del verano y las tasas de mortalidad.³ La concentración de CO₂ en la atmósfera en los últimos cien años aumentó entre 15 y 25% (Figura 2a). De acuerdo con los modelos climáticos globales, cerca de 60% del calentamiento predicho se debe al bióxido de carbono (Figura 2). No obstante, otros gases como los clorofluorocarburos (CFC), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O) también contribuyen al calentamiento global del planeta en 20 y 25 % impactando la salud humana como se documenta más adelante (Cuadro 1; Figura 2 b y c).⁷ Existen, sin embargo, alternativas para capturar el dióxido de carbono y uno de los sumideros más importantes son los bosques (Cuadro 2). La importancia de estos sumideros de carbono radica en transformar en materia orgánica el CO₂ que se acumula en la estratosfera ya que, al tardar hasta cien años en destruirse, si hoy mismo se suspendiera su producción, el CO₂ acumulado seguiría produciendo efectos dañinos sobre las poblaciones del planeta por cerca de un siglo. Este gas puede dañar directamente la salud de las po-

blaciones o bien actuar indirectamente al modificar el clima a través de cambios en la temperatura del planeta, con graves consecuencias para la humanidad (Cuadro 1). De manera directa el CO₂ causa insuficiencia cardíaca, sofocación e incluso la muerte a las personas expuestas. Esto ocurre debido a que el CO₂ reemplaza el oxígeno en los glóbulos rojos de la sangre y reduce la cantidad que debería llegar a las células del cuerpo para mantenerlo con vida, por lo cual afecta a todas las personas, pero más aún a aquellas con enfermedades cardiovasculares, cerebrales y respiratorias (bronquitis, asma, cáncer pulmonar).¹ De manera indirecta el CO₂ al favorecer el aumento de la temperatura en un grado Celsius (°C) puede causar la presencia de mosquitos en regiones donde el frío les impedía sobrevivir y reproducirse; muchos de ellos son vectores de enfermedades como: la malaria transmitida por el mosquito *Anopheles*, la encefalitis transmitida por el mosquito *Culex* y el virus del dengue y la fiebre del Nilo transmitidas por el mosquito *Aedes aegypti*. Asimismo, un incremento de la temperatura podría permitir la aparición de microorganismos generadores de nuevas enfermedades. El aumento de la temperatura también repercute en los sistemas agrícolas,

El bióxido de carbono (CO₂), es el componente atmosférico más importante y más afectado por las actividades humanas. Las principales fuentes de él son la respiración de animales y plantas, el uso industrial y doméstico de combustibles fósiles (90% de las emisiones se deben al consumo de petróleo, gas natural, carbón) y la quema de leña o la descomposición de la materia orgánica. Las plantas, fundamentalmente los árboles, toman el CO₂ de la atmósfera a través de la fotosíntesis, almacenando el carbono en el follaje, tallos y raíces. Debido a la larga vida de la mayoría de los árboles y su relativo gran tamaño, los bosques se convierten en depósitos naturales de carbono. Los bosques almacenan entre veinte y cien veces más carbono que cualquier cultivo agrícola. Sin embargo, cuando los árboles mueren o son talados el carbono almacenado vuelve a liberarse a la atmósfera, por lo que ellos además de ser depósitos (sumideros) también son fuente de carbono. Por lo tanto, es importante conservar los bosques y usarlos con un manejo adecuado para que actúen más como sumideros de carbono que como fuente.

Se pueden considerar las siguientes estrategias para reducir las emisiones de CO₂ y favorecer la conservación de sumideros de carbono: evitar la deforestación y los incendios, mejorar la eficiencia de uso de biocombustibles, establecer reservas y áreas protegidas, reducir la tala de árboles, implementar programas masivos de reforestación, agrosilvicultura, arbolado urbano, etcétera.

CUADRO 2. Los bosques, oportunidad para capturar bióxido de carbono.

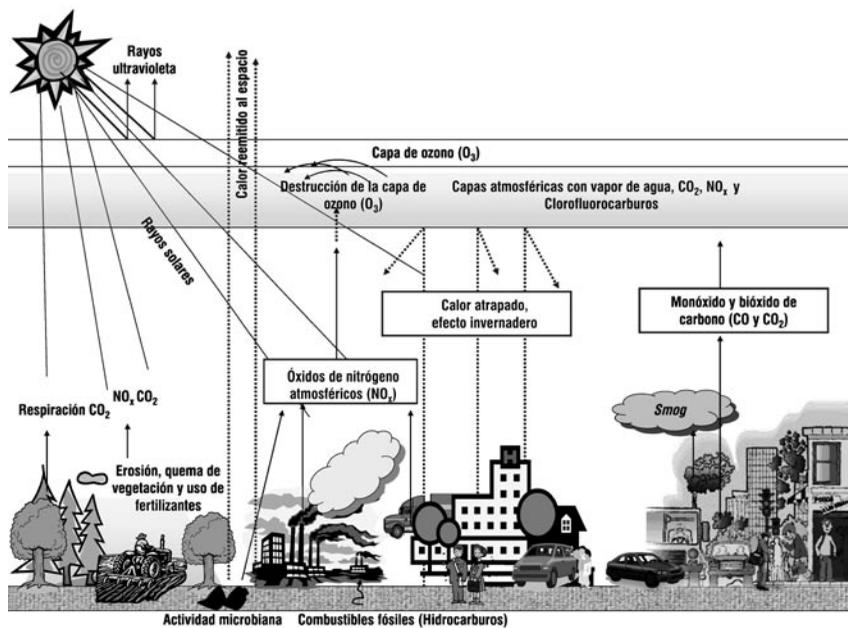


FIGURA 1. Algunas fuentes de gases contaminantes. Gases como el bióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y clorofluorocarburos se acumulan en la atmósfera y destruyen la capa de ozono. Estos también atrapan el calor solar reemitido al espacio favoreciendo el efecto invernadero, debido a que los gases invernadero atrapan a la mitad del camino a los rayos solares calentando la atmósfera y así contribuyen al aumento de la temperatura del planeta.

donde severas sequías y el surgimiento de plagas pueden reducir la cantidad y calidad de alimentos.^{3,4,8}

CONTAMINACIÓN POR ÓXIDOS DE NITRÓGENO

Los óxidos de nitrógeno (N) como el óxido nítrico (NO) y bióxido de nitrógeno (NO₂) son producidos por vehículos de motor, hornos, estufas y productos de limpieza, o bien son el resultado de procesos microbianos, por ejemplo, los suelos agrícolas fertilizados con nitrógeno y el suelo de las selvas tropicales secas son los que más emiten este tipo de óxidos a la atmósfera. La elevada concentración de estos óxidos también contribuye al calentamiento del planeta (efecto invernadero) ya que éstos absorben hasta doscientas veces más radiación infrarroja que el bióxido de carbono.^{6,7} Cuando los niveles de los óxidos de nitrógeno sobrepasan las concentraciones normales en la atmósfera causan irritación pulmonar, bronquitis, pulmonía o facilitan infecciones respiratorias como la influenza. Experimentos realizados con animales en condiciones de laboratorio muestran que los niveles de NO₂ aumentan la susceptibilidad a infecciones respiratorias. Sin embargo, los estudios realizados en humanos sugieren que los óxidos de nitrógeno tienen un efecto grave sólo en personas asmáticas o con alguna enfermedad pulmonar.¹ No obstante, lo grave del aumento de las concentraciones de los óxidos de nitrógeno es que éstos son precurso-

res del ozono (O₃) o participan en su destrucción según su concentración o el tiempo de reacción química y por lo tanto, muchos de sus efectos sobre la salud están asociados a la destrucción de la capa de ozono.^{3,8}

HIDROCARBUROS Y CLOROFLUOROCARBURIS

Los hidrocarburos como el metano, propano y butano (gas usado en las estufas) son compuestos orgánicos volátiles. Éstos son emitidos por vehículos de motor, solventes, procesos industriales, residuos sólidos y por descomposición de la materia orgánica en ausencia del oxígeno. Los hidrocarburos contribuyen a la formación del ozono al combinarse en presencia de luz solar y óxidos de nitrógeno. Algunos, como el metano (CH₄), contribuyen en 20% con el calentamiento atmosférico al absorber entre veinte y treinta veces más calor que el CO₂. La concentración de metano en la atmósfera ha aumentado en los últimos años debido a la actividad humana (Figura 2c).^{6,7} En la atmósfera, el metano es oxidado a monóxido y bióxido de carbono, por lo que es precursor de otros contaminantes cuya vida media en la atmósfera es de hasta cien años, sólo noventa años más que la del metano. Aunque no todos los hidrocarburos son tóxicos, existen evidencias de que algunos de ellos, como el benceno, provocan cáncer en las personas. Sin embargo, quizás su mayor papel en el ambiente es que producen sustancias carbonadas y exceso de ozono aumentando el efecto invernadero. Los clorofluorocarburos (CFC) también contribuyen en 20%

al efecto invernadero y reducen la capa de ozono.⁷ Los CFC resultan del uso de aerosoles, gases de refrigeración, la fabricación de transistores, plásticos y de los sistemas de aire acondicionado de los vehículos con 120,000 toneladas de CFC por año. Los CFC son los responsables principales de la destrucción de la capa de ozono, ya que los iones cloro liberados por la radiación ultravioleta reaccionan con el ozono. El aumento de las concentraciones de metano y de CFC en la atmósfera y su dispersión en el aire provocan en las personas reseca y cáncer en la piel, queratinización del cabello, y alteraciones del sistema inmunológico y de los ojos.^{1,3,7}

CONCLUSIONES

La contaminación atmosférica es un problema severo que amenaza al planeta. La acumulación y reacciones en cadena de los óxidos de carbono y nitrógeno, clorofluorocarburos e hidrocarburos en la atmósfera impactan la salud humana y modifican la temperatura del planeta. La alteración de la salud y del clima podría ser en el futuro el inicio del colapso de nuestra civilización, y quizás los efectos de la contaminación sobre la salud es el primer aviso de que nuestra especie está en riesgo ya que podría no resistir los drásticos cambios ambientales que están ocurriendo debido a la contaminación. Para enfrentar a la contaminación y sus consecuencias debemos cuanto antes reducir las emisiones de contaminantes atmosféricos, elaborar estudios de riesgo e impacto a nivel nacional y hacer evaluaciones permanentes sobre el calentamiento y la incidencia de enfermedades. Sin embargo, un esfuerzo individual es importante, por ejemplo, acciones sencillas como compartir el auto al viajar y usar productos menos industrializados ayudaría a reducir las emisiones de contaminantes. Todo esto garantizaría el futuro de nuestra especie y de la vida sobre el planeta.

REFERENCIAS

- Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra, Suiza. <http://www.who.int/topics/es/air.html>. Fecha de consulta: marzo (2005).
- Garza A, Vega R y Soto E. Cellular mechanisms of lead neurotoxicity. *Medical Science Monitor* 12 (3) (2006) RA57-65.
- Agencia de Protección al Ambiente (EPA). <http://www.epa.gov/air/topics/comeap.html>. Environmental Pollution and its Effect on Human Health. Fecha de consulta: mayo (2006).

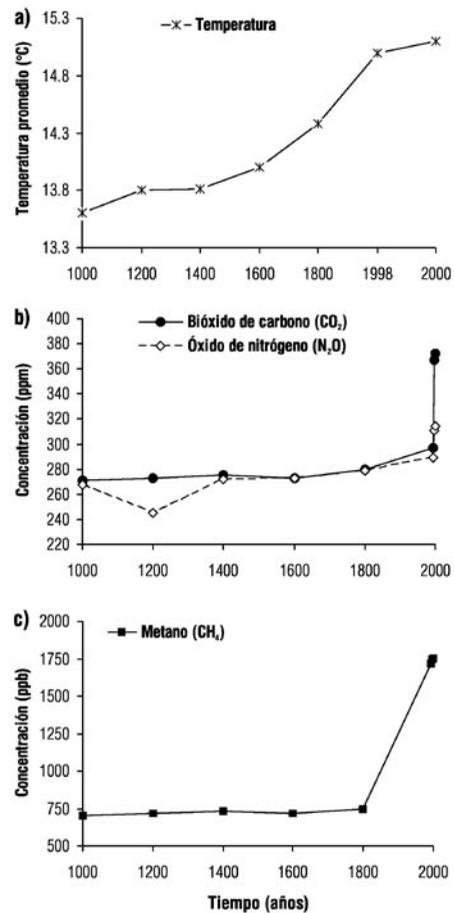


FIGURA 2. El siglo xx fue el más caliente en los últimos mil años. La temperatura global promedio (a) aumenta a medida que el (b) CO₂ y los óxidos de nitrógeno (NO_x) y el (c) metano (CH₄) han incrementado por la actividad humana. Los gases absorben el calor en la atmósfera y contribuyen al calentamiento de la Tierra favoreciendo el efecto invernadero a un ritmo sin precedentes en la historia del planeta. [ppm= partes por millón, ppb= partes por billón]. (Datos adaptados de: IPCC Assessment Report 2001).⁷

- Rosales JA, Torres VM, Olaiz G y Borja VH. Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población, evidencias de estudios epidemiológicos. *Salud Pública en México* 43 (2001) 544-555.
- Sheinbaum C y Masera O. Mitigating Carbon Emissions while Advancing National Development Priorities. The Case of Mexico. *Climatic Change* 47(2000) 259-282.
- Martínez J y Fernández A. *Cambio climático, una visión desde México*, Instituto Nacional de Ecología y Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, México (2004).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report on Climate Change*, Cambridge WMO-UNEP, Cambridge University Press (2001).
- Forget G y Lebel J. An Ecosystem Approach to Human Health. *International Journal of Occupational and Environmental Health* 72 (2001) 1-38.

Noé Manuel Montaña Arias y Ana Lidia Sandoval Pérez. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM campus Morelia. nmma@oikos.unam.mx