

---

## **Calidad del aire. Principales riesgos de contaminación para la salud**

### **Air quality. Main pollution risks to health**

José Duanis Torres Vázquez<sup>1</sup> ([duanistv@ult.edu.cu](mailto:duanistv@ult.edu.cu)) (<https://orcid.org/0000-0003-2100-2083>)

Lidia María Garrido Guerra<sup>2</sup> ([lidiagg@estudiantes.edu.cu](mailto:lidiagg@estudiantes.edu.cu)) (<https://orcid.org/0009-0008-8293-1998>)

Elizabeth Garrido Guerra<sup>3</sup> ([elizabethgg@estudiantes.edu.cu](mailto:elizabethgg@estudiantes.edu.cu)) (<https://orcid.org/0009-0003-9612-4031>)

### **Resumen**

Nuestra sociedad está invadida de muchos productos naturales, seminaturales y artificiales con alto grado de impurezas que afecten la calidad del aire y ocasionan daños al medio ambiente, a los seres vivos y al organismo humano. El presente artículo tiene como propósito presentar un resumen de estos contaminantes y su tratamiento, para contribuir a elevar la percepción de riesgo en este sentido. Para ello se utilizó la técnica de revisión de documentos, a partir de diversos estudios sobre la contaminación atmosférica; el análisis-síntesis, inducción-deducción. Promover el desarrollo de proyectos y programas que instruyan acerca de los efectos que produce la contaminación del aire en la naturaleza con el uso y tratamiento de productos y sustancias permite elevar los niveles satisfactorios en cuanto a la calidad del aire que no se contamine y deteriore la salud.

**Palabras clave:** medio ambiente, calidad del aire, contaminación y salud.

### **Abstract**

Our society is invaded by many natural, semi-natural and artificial products with a high degree of impurities that affect air quality and cause damage to the environment, living beings and the human organism. The purpose of this article is to present a summary of these pollutants and their treatment, in order to contribute to raise the perception of risk in this sense. For this purpose, the document review technique was used, based on different studies on atmospheric pollution; analysis-synthesis, induction-deduction. Promoting the development of projects and programs that instruct about the effects that air pollution produces in nature with the use and treatment of products and substances allows to raise satisfactory levels in terms of air quality that does not pollute and deteriorate health.

**Key words:** environment, air quality, pollution and health.

---

<sup>1</sup> M. Sc. Licenciado en Educación, Especialidad Biología. Profesor Asistente. Departamento Biología de la Universidad de Las Tunas, Cuba.

<sup>2</sup> Estudiante de Licenciatura en la carrera de Biología en segundo año de la Universidad de Las Tunas, Cuba.

<sup>3</sup> Estudiante de Licenciatura en la carrera de Biología en segundo año de la Universidad de Las Tunas, Cuba

## **Los estudios internacionales sobre la atmósfera**

Los resultados de numerosos estudios internacionales incluidos los realizados por organismos del sistema de Naciones Unidas y en Cuba, ratifican que la exposición prolongada a una atmósfera enrarecida suele ser especialmente perjudicial para las personas con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, cáncer, mujeres embarazadas, niños y ancianos.

La contaminación atmosférica es la presencia en el aire de materias o formas de energía que implican riesgo, daño o molestia grave para las personas y bienes de cualquier naturaleza, así como que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. Desde que la Revolución Industrial inició en la segunda mitad del siglo XVIII, los procesos de producción en las fábricas, el desarrollo del transporte y el uso de los combustibles han incrementado la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera y otros gases que son muy perjudiciales para la salud, como los óxidos de azufre y los óxidos de nitrógeno.

Los contaminantes gaseosos en ambientes exteriores e interiores y los vapores aparecen en diferentes concentraciones. Los contaminantes gaseosos más comunes son el dióxido de carbono, el monóxido de carbono, los hidrocarburos, los óxidos de nitrógeno, los óxidos de azufre y el ozono. Diferentes fuentes producen estos compuestos químicos pero la principal fuente artificial es la quema de combustible fósil. La contaminación del aire interior es producida por el consumo de tabaco, el uso de ciertos materiales de construcción, productos de limpieza y muebles del hogar. Los contaminantes gaseosos del aire provienen de volcanes, e industrias. El tipo más comúnmente reconocido de contaminación del aire es la niebla tóxica (smog). La niebla tóxica generalmente se refiere a una condición producida por la acción de la luz solar sobre los gases de escape de automotores, fábricas, edificios, casas.

El desarrollo de una cultura para la conservación del medio ambiente y la salud nos acerca más al estudio de la prevención de los riesgos de desastres, el cambio climático, el desarrollo sostenible, los peligros, la vulnerabilidad y los riesgos, la contaminación y la sequía, la conservación a la biodiversidad, así como la protección y conservación de las aguas, entre otros, se constituyen en objetivos esenciales de la política del Sistema Nacional en Cuba.

La contaminación ambiental o polución es la introducción de sustancias u otros elementos físicos en un medio, que provocan que este sea inseguro o no apto para su uso. El medio ambiente puede ser un ecosistema, un medio físico o un ser vivo. El contaminante puede ser una sustancia química o energía (como sonido, calor, luz o radiactividad). Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente y, por lo general, se produce como consecuencia de la actividad humana considerándose una forma de impacto ambiental (Online Dictionary, 2010).

Es una prioridad que los individuos incorporen a su quehacer diario este tema y garanticen que cada uno de ellos desarrollen una conciencia en niños, adolescentes, jóvenes y ancianos de la importancia y necesidad impostergable de la preservación del medio ambiente como vía fundamental para garantizar la supervivencia de la especie humana.

El proceso de deterioro del medio ambiente en los últimos años se ha caracterizado por un ritmo muy acelerado, llegando a magnitudes cada vez más crecientes y de alcance global, principalmente en los países menos desarrollados o con menos recursos económicos, donde cada día aumenta más la población, la extracción de leña, la emisión de gases y partículas contaminantes, la expansión de los territorios agrícolas, el agotamiento de las aguas, entre otros problemas ambientales que influyen en la salud en general.

La salud (del latín *salus*, -*utis*) es un estado de bienestar o de equilibrio que puede ser visto a nivel subjetivo (un ser humano asume como aceptable el estado general en el que se encuentra) o a nivel objetivo (se constata la ausencia de enfermedades o de factores dañinos en el sujeto en cuestión). El término salud se contrapone al de enfermedad, y es objeto de especial atención por parte de la medicina y de las ciencias de la salud. La OMS (1994) define la “calidad de vida” como la percepción del individuo sobre su posición en la vida dentro del contexto cultural y el sistema de valores en el que vive y con respecto a sus metas, expectativas, normas y preocupaciones (OMS, 1997).

Es imprescindible, que además exista un discernimiento de toda la población; que es indispensable no solo reavivar y actualizar el sistema de monitoreo. También urge anticipar, mediante la aplicación de soluciones integrales el procedimiento de las emisiones industriales en las diferentes localidades en los planes de la economía nacional, vigorizar las investigaciones pluridisciplinarias y disponer de un decreto ley específico sobre la protección de la atmósfera que haga conocer y comprender cuáles son los principales contaminantes y el uso y tratamiento de productos y sustancias, lo cual conlleve a fortalecer la formación de valores de amor al medio ambiente y a la obra creadora del hombre.

### **Principales problemas de salud producto a la contaminación del aire, agua y suelos**

La lucha contra la contaminación ambiental cada día se hace más imperiosa y urgente, debido a los múltiples efectos nocivos que provoca en todo lo que nos rodea. El aire de por sí, es una mezcla de polvo oxígeno, nitrógeno, ozono, vapor de agua, polen y microorganismos y otros gases inertes, se considera contaminado, cuando en él existen sustancias producidas por la actividad humana en cantidades y concentraciones capaces de interferir en el bienestar y la salud de las personas, animales y plantas. Toda sustancia cuya incorporación a la atmósfera, comunidad y en el propio hogar produzca un efecto mensurable sobre el hombre y su ambiente, puede considerarse como contaminante.

La atmósfera se divide en:

- 
- Troposfera: hasta 7 - 8 km.
  - Tropopausa: Transición.
  - Estratosfera: De 9-18 km. hasta 50 km. Es muy importante, pues en ella se encuentra la ozonosfera.
  - Estratopausa
  - Mesosfera: De 55 km. hasta 80 km.
  - Mesopausa
  - Ionosfera o termosfera: de 85 km. hasta 700-800 km. Capa ionizada de mucho calor.
  - Termopausa
  - Exosfera: de 800 hasta 2000 km.
  - Espacio abierto
  - Cosmos

La contaminación atmosférica se produce en el planeta por vías naturales y vías antrópicas o tecnológicas y en menor proporción tectónicas.

La contaminación por vía natural se produce por:

- Denudación (erosión) de los suelos y las arenas.
- Incendios de bosques y praderas.
- Erupciones volcánicas (vapor de agua, dióxido de carbono, dióxígeno, monóxido de carbono, dinitrógeno, dihidrógeno, metano, cloruros metálicos, sulfuro de hidrógeno)
- Sales marinas (cloruro de sodio, cloruro de calcio, bromuro de potasio)
- Contaminación biológica (bacterias, hongos, polen)
- Polvo cósmico (llegan anualmente desde el cosmos 10 millones de ton)

La contaminación por vía antrópica o tecnológica se produce por:

- Combustión y residuos industriales
- Transporte automotor
- Utilización de la energía nuclear
- Quema de residuos domésticos
- Incendios antrópicos
- Roturación de los suelos

Los principales contaminantes químicos del aire los podemos agrupar en dos grandes categorías:

Contaminación química:

- Compuestos químicos gaseosos que no forman parte de la constitución química de la atmósfera.
- Partículas sólidas y líquidas.
- Vertimiento de sustancias químicas del resultado de la utilización de parte de empresa, fábricas y hogares.
- Mal uso de pesticidas e insecticidas y herbicidas por parte del sector agropecuario.
- Abandono de productos electrónico y tecnológico constituido por metales pesados y altamente contaminantes del entorno.

Contaminación física (sonora lumínica, radioelectrónica y electromagnética)

La contaminación por vías antrópicas o tecnógenas se produce por ser la vía que más proporciona contaminación al medio ambiente e incide en la salud humana.

Clasificación de los principales contaminantes del aire:

Primarios: aquellos emitidos directamente de la atmósfera.

Secundarios: aquellos que son formados por reacciones entre contaminantes primarios.

Las principales fuentes de la contaminación del aire son:

1. Transporte.
2. Calefacción doméstica, no tanto como en la industria para ciertos procesos como para producción de cemento y obtención de productos del petróleo.
3. Producción de energía eléctrica (centrales obsoletas de gran consumo de energía y de combustiones incompletas en etapas cruciales del proceso)
4. Incineración de desechos.
5. Procesos de combustión y emisiones de gases de las industrias.

De todas estas, la de mayor incidencia es el transporte, debido a la utilización de los motores de combustión interna, los que desprenden altas concentraciones de monóxido de carbono, de hidrocarburos y de óxidos de nitrógeno, en las zonas de gran circulación de vehículos.

Los contaminantes primarios son los que se emiten directamente a la atmósfera como el dióxido de azufre  $SO_2$ , que daña directamente la vegetación y es irritante para los pulmones. Los contaminantes secundarios son aquellos que se forman mediante procesos químicos atmosféricos que actúan sobre los contaminantes primarios o sobre especies no contaminantes en la atmósfera. Son importantes contaminantes

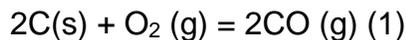
secundarios el ácido sulfúrico,  $H_2SO_4$ , que se forma por la oxidación del  $SO_3$ , el dióxido de nitrógeno  $NO_2$ , que se forma al oxidarse el contaminante primario  $NO$  y el ozono,  $O_3$ , que se forma a partir del oxígeno  $O_2$ .

Ambos contaminantes, primarios y secundarios pueden depositarse en la superficie de la tierra por precipitación, deposición seca o húmeda e impactar en determinados receptores, como personas, animales, ecosistemas acuáticos, bosques, cosechas y materiales. En todos los países existen unos límites impuestos a determinados contaminantes que pueden incidir sobre la salud de la población y su bienestar.

### Contaminantes primarios

Los óxidos de carbono

Monóxido de carbono: Es el contaminante que más abunda en atmósferas contaminadas por el progreso tecnológico". Su fuente generadora principal es el motor de combustión interna, que lo libera como componente de los gases de escape. El monóxido de carbono ( $CO$ ) se produce en la combustión incompleta del carbón o de compuestos de carbono.



Es un gas incoloro, inodoro e insípido, por lo que es muy difícil de detectar. Es ligeramente menos denso que el aire y se mezcla uniformemente y en todas proporciones con éste. La acción contaminante del monóxido de carbono se basa en un mecanismo único que difiere totalmente del que ejercen otros contaminantes del aire. A diferencia de la mayoría de los contaminantes que irritan las vías respiratorias, el monóxido de carbono pasa, a través de los pulmones, directamente al torrente sanguíneo, ya que es más soluble que el dióxígeno.

Normalmente, el dióxígeno que llega a los pulmones difunde a través de las paredes de los vasos sanguíneos a la sangre, donde es atraído hacia el extremo cargado con carga positiva, de la molécula de la hemoglobina, que actúa como el transportador de  $O_2$  a través de todo el cuerpo. En este proceso de captación del oxígeno, por parte de la hemoglobina se liberan iones hidrógeno. Este proceso puede representarse por el siguiente equilibrio:

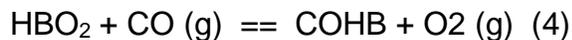


Este equilibrio podrá ser desplazado si varía la concentración de  $H^+$  hacia la formación de  $HHB^+$ . Cuando la molécula de hemoglobina oxigenada ( $HBO_2$ ) llega a los tejidos, el  $CO_2$ , producto fundamental de los procesos de oxidación de las moléculas de alimentos que proveen la energía necesaria para la vida, que se encuentra disuelto en la sangre y obedece al equilibrio:



Provoca un desplazamiento de la posición de equilibrio de la reacción (2) hacia la formación de HHB<sup>+</sup>, lo que libera el O<sub>2</sub> que los tejidos necesitan para continuar con los procesos naturales de oxidación. El CO<sub>2</sub> producido es transportado, a su vez, junto con la molécula de hemoglobina no oxigenada (HHB<sup>+</sup>), hasta los pulmones donde es expulsado al medio y la molécula de HHB<sup>+</sup> es oxigenada para iniciar un nuevo ciclo. El resultado neto de este proceso es un intercambio de O<sub>2</sub> por CO<sub>2</sub> en los pulmones.

Cuando hay presencia de monóxido de carbono, este ciclo es alterado ya que este gas puede enlazarse también a la hemoglobina, formando la carboxihemoglobina. El monóxido de carbono tiene una mayor afinidad por la hemoglobina que la que presenta el dióxígeno. La reacción que ocurre es:



Esta afinidad entre la hemoglobina y el monóxido de carbono es 200 veces mayor que entre el dióxígeno y la molécula de hemoglobina. Resulta así fácil entender el gran efecto nocivo que un exceso de monóxido de carbono, presente en la atmósfera, puede causar daños a la vida animal que en ella habita. La gráfica que anexamos representa los efectos del monóxido de carbono en el ser humano, en función del tiempo de exposición a este contaminante.

La exposición a una atmósfera con 0,1% de monóxido de carbono durante una hora inmoviliza aproximadamente un 50% de la hemoglobina, esto se traduce en una pérdida del conocimiento y la inhalación de 500 ml de monóxido de carbono es suficiente para provocar este estado. Es fácil así entender por qué la inhalación de humo produce tan rápidamente asfixia en las personas. Una concentración de 1% de monóxido de carbono puede provocar la muerte en 5 minutos. Los alemanes lo usaron para eliminar seres humanos en los campos de concentración como un método más “el sueño letal”. Existe, además, el peligro de destrucción de células cerebrales, debido a la escasez del dióxígeno y como estas no pueden regenerarse, el daño provocado es irreparable.

El monóxido de carbono no tiene efecto conocido sobre los vegetales. En principio, el monóxido de carbono debería convertirse en dióxido de carbono en la atmósfera; sin embargo, esta reacción es demasiado lenta.

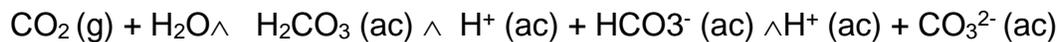
Dióxido de carbono:

El dióxido de carbono se forma por un proceso de oxidación y combustión. A diferencia del monóxido de carbono, el dióxido de carbono no es, por sí mismo, tóxico. Por lo tanto, es uno de los gases de menor importancia como contaminante. Es un compuesto necesario en el ciclo de la vida de las plantas, en la reacción de fotosíntesis: Luz solar  
 $\text{CO}_2 \text{ (g)} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Carbohidratos} + \text{O}_2 \text{ (g)}$ .

El dióxido de carbono empleado en este proceso, así como el dióxido de carbono liberado como subproducto de la respiración en el hombre, son importantes en el ciclo total de CO<sub>2</sub> - C:

El CO<sub>2</sub> no tiene un efecto contaminante directo, pero su aumento en la atmósfera es importante debido al efecto invernadero, que su presencia junto a la de otros gases, como el metano y los clorofluorocarbonos, puede provocar. En las gráficas que se anexan aparece el aumento de la concentración de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y CFC, desde 1750 hasta lo que se proyecta en el 2000.

Este conjunto de reacciones en cadena se puede representar así:



El ácido carbónico está presente en las bebidas gaseosas o carbonatadas. En una forma más diluida desempeña un papel principal en la formación de cuevas debido a que disuelve el carbonato de calcio o calcita cuando la concentración de dióxido de carbono (antiguamente anhídrido carbónico) es alta. Este ácido opera como regulador del pH (tampón o buffer) en la disolución lograda para sanitizar el agua cuando es el único medio operante, el ácido carbónico más fuerte, es el sulfato ácido de calcio. El pH de una solución saturada de dióxido de carbono alcanza un pH de 6,5 aproximadamente. A las sales y ésteres del ácido carbónico se les denominan carbonatos ácidos o bicarbonatos (base conjugada del ácido carbónico). La base conjugada del bicarbonato es el carbonato.

Es el principal responsable del color blanco de los corales en los océanos mundiales. El aumento de estos “gases de efecto invernadero” en la atmósfera es una de las grandes preocupaciones de los científicos en la actualidad y constituye un efecto macroclimático que, desde luego, tiene repercusiones globales; es decir, afecta las condiciones climáticas del planeta en general. Este se puede considerar como el problema medioambiental más serio que afecta al planeta. El metano, CH<sub>4</sub>, es un gas que se forma cuando la materia orgánica se descompone en condiciones en que hay escasez de oxígeno; esto es lo que ocurre en las ciénagas, en los pantanos y en los arrozales de los países húmedos tropicales. También se produce en los procesos de la digestión y defecación de los animales herbívoros.

El metano es un gas de efecto invernadero del planeta Tierra ya que aumenta la capacidad de retención del calor por la atmósfera.

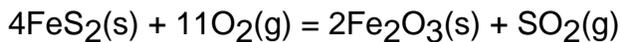
Efectos que provocaría un cambio de temperatura global en la atmósfera de la tierra:

- Muertes de bosques
- Tormentas violentas y sequías
- Deshielo, durante todo el año, del Océano Ártico
- Aumento del nivel del océano mundial, lo que provocaría el hundimiento de ciudades ubicadas en los litorales, es decir, la disminución de las tierras emergidas.

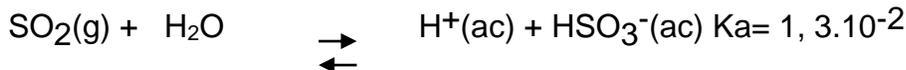
- Se secará el cinturón productor de cereales y los campos de trigo de las estepas, y esto, unido al hundimiento de las tierras bajas, trae como consecuencia la pérdida de 1/3 de las tierras agrícolas.

Dióxido de azufre:

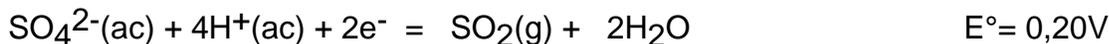
El dióxido de azufre es un gas, incoloro, con olor y sabor característicos. Es uno de los principales contaminantes del aire. Se produce por la combustión de combustibles que contienen azufre. Nuestro petróleo tiene un alto contenido de azufre en su composición, por lo que para nosotros es importante este contaminante. El carbón de hulla, que se quema en las plantas para generar energía eléctrica, contiene azufre en forma de minerales como la pirita,  $\text{FeS}_2$ . En el proceso de combustión, el azufre se convierte en  $\text{SO}_2$ .



El dióxido de azufre es muy soluble en agua, y cuando se disuelve en ella, origina disoluciones ácidas. La disolución se comporta como un ácido débil y puede representarse por el equilibrio:

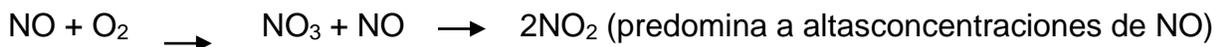


Es un agente reductor relativamente débil en medio ácido y en medio alcalino:

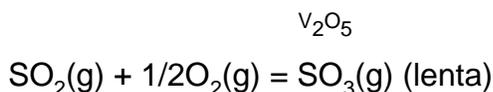


Trióxido de azufre:

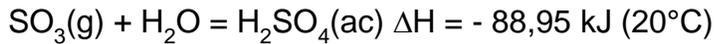
Se produce por oxidación de  $\text{SO}_2$ . El mecanismo por el cual el  $\text{SO}_2$  se convierte en  $\text{SO}_3$  depende de la atmósfera circundante. La conversión parece deberse al  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}_3$  o a la presencia de un radical libre de hidrocarburos. Algunos investigadores opinan que la transición se debe a la presencia de  $\text{NO}$ , de acuerdo con la serie de reacciones siguientes:



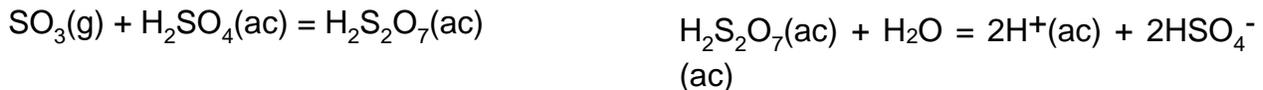
La conversión de  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$  aparentemente puede ser catalizada por materiales presentes en el polvo del aire, tales como óxidos de hierro y manganeso. En la producción comercial de ácido sulfúrico se emplea el  $\text{V}_2\text{O}_5$ , pentóxido de divanadio, para convertir el  $\text{SO}_2$  a  $\text{SO}_3$ :



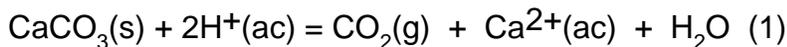
El  $\text{SO}_3$  absorbe agua con extraordinaria avidez, combinándose con ésta con formación de ácido sulfúrico:



Su solubilidad se ve favorecida en disoluciones de ácido sulfúrico, dando origen al óleum o ácido sulfúrico fumante ( $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ), el cual libera ácido sulfúrico al disolverse en agua:



El ácido sulfúrico es un ácido muy fuerte, corrosivo, que destruye el tejido vivo, estructuras de carbonatos (1) y fibras sintéticas.



Otro compuesto importante que contiene azufre es el sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), que presenta un característico olor a huevo podrido. Éste ennegrece los colores de pinturas a base de plomo, ya que se forma el sulfuro de plomo (II),  $\text{PbS}$ , y es más venenoso que el  $\text{CO}$ ; sin embargo, aún no es un contaminante abundante, como son el  $\text{SO}_2$  o los hidrocarburos. La fuente principal es la materia orgánica en descomposición, aguas negras o alguna operación industrial. La distribución del azufre en nuestro ambiente se puede representar en el siguiente esquema:

Óxidos de nitrógeno:

Los óxidos más importantes del nitrógeno que se encuentran en el aire como contaminantes son el monóxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno; los dos son producidos por procesos de combustión que tienen lugar en el aire. El monóxido de nitrógeno es el producto de la combustión directa de las sustancias simples a elevadas temperaturas, siendo sólo estable a temperatura elevada, ya que, a temperatura ordinaria, al entrar en contacto con el aire se oxida a  $\text{NO}_2$ .



Los efectos de este gas en el hombre van desde un olor desagradable y una irritación moderada a una congestión pulmonar grave y a la muerte, según la concentración de él y la duración de la exposición. El  $\text{NO}_2$  es una de las sustancias claves que entran en la cadena de las reacciones químicas que producen el "smog" y es una fuente absorbente de luz ultravioleta. Su concentración normal en el aire es de 0,001 ppm.

El nitrógeno es esencial para la vida, pero no puede ser asimilado directamente por las plantas. "Fijación del nitrógeno" es un término usado para describir la conversión del  $\text{N}_2$  en sus compuestos, preferentemente nitratos y amoníaco. Un mecanismo para convertir

el dinitrógeno atmosférico en óxido es la combustión. El proceso de fijación más importante, sin embargo, es biológico.

El paso de  $N_2$  a  $NO_3^-$  es producto de la oxidación. Una vez que se han formado los nitratos, estos pueden ser asimilados directamente por las plantas y, así, transformarlo en productos orgánicos nitrogenados, tales como aminoácidos y urea, o puede ser transformado por bacterias de  $NO_3^-$  a  $NO_2$ , o a  $NH_3$ , o retornar a  $N_2$  en un proceso de reducción. Tanto el monóxido como el dióxido de nitrógeno, son tóxicos para los animales y las plantas, cuando están presentes a determinadas concentraciones. El  $NO_2$  es cinco veces más tóxico que el  $NO$ .

El  $NO_2$  contribuye, en gran medida, a provocar las enfermedades respiratorias crónicas de tipo obstructivas. En los pulmones se transforma en ácido nitroso o nítrico. El ácido nítrico provoca la desnaturalización de las proteínas y, por tanto, destruye los tejidos del pulmón. Estos óxidos producen, además, deterioro de las fibras de acetato, algodón y rayón. La interacción química de hidrocarburos, óxidos de nitrógeno y ozono, en presencia de los rayos UV de la luz solar, produce el "smog", el cual contiene una gran variedad de contaminantes y produce nuevos productos como resultado de la reacción catalizada por la luz solar.

## Cloro

El cloro es un químico importante para la purificación del agua (como en plantas de tratamiento de agua), en desinfectantes y en la lejía. El cloro en agua es más de tres veces más efectivo como agente desinfectante contra *Escherichia coli* que una concentración equivalente de bromo, y más de seis veces más efectiva que una concentración equivalente de yodo.

La inhalación de cloro produce una importante toxicidad química directa de las vías respiratorias. La exposición continuada a bajos niveles de cloro provoca irritación e inflamación de las vías respiratorias y aumenta considerablemente el riesgo de desarrollar asma, bronquitis crónica y ataques aislados de sibilancias. En los adolescentes con atopia, aumenta además el riesgo de desarrollar rinitis alérgica.

La inhalación de niveles elevados de cloro puede provocar intoxicación y lesión pulmonar aguda, síndrome de dificultad respiratoria aguda y, hasta en un 1% de los casos, la muerte. Los síntomas y signos de obstrucción de las vías respiratorias derivados de la intoxicación incluyen tos, opresión en el pecho, disnea, sibilancias, estertores, inflamación pulmonar (con o sin infección asociada), edema pulmonar o hipoxemia.

Las formas de cloro involucradas en la toxicidad respiratoria no se limitan al cloro gaseoso sino también a los compuestos que se forman por su combinación con otras sustancias, tales como el ácido hipocloroso, el dióxido de cloro y la cloramina. De hecho, debido a que el cloro gaseoso es moderadamente soluble en agua, cuando entra en contacto con las mucosas de las vías respiratorias puede formar ácido

hipocloroso, ácido clorhídrico y diversos oxidantes altamente reactivos, a medida que se va disolviendo en el líquido de la superficie de las vías respiratorias.

Esto provoca lesiones que no se limitan a las vías respiratorias inferiores, sino que también puede afectar a los ojos, la piel y las vías respiratorias superiores. La vía aérea se ve especialmente afectada desde la nariz hasta el nivel de los bronquios. El daño oxidativo de las vías respiratorias puede no aparecer de manera inmediata, sino que puede desarrollarse de manera retardada, durante cualquier etapa de la enfermedad (días e incluso semanas después de la exposición al cloro).

Contaminación del aire por partículas (Manahan, 2010):

No es difícil actualmente encontrar, en la atmósfera de las ciudades populosas, una bruma que flota a poca distancia de la superficie terrestre. Esta bruma es causada fundamentalmente por partículas suspendidas en el aire. Estas partículas desvían la luz y oscurecen el cielo, y son conocidas como aerosoles. Las partículas atmosféricas surgen de diferentes fuentes. Muchas de las partículas liberadas en la atmósfera son tan grandes que rápidamente se depositan en el suelo. Pero las partículas con un radio inferior a más o menos 10 micrómetros ( $10^{-6}$  m) son tan pequeñas que las corrientes de aire las mantienen en suspensión durante varios días.

Las partículas metálicas parecen ser las que alteran en mayor grado la salud. Constituyen entre el 0,01 al 0,3% del total de partículas que contiene la atmósfera, pero por el daño que provocan, son las más importantes. De estas partículas, cuatro metales conocidos son los más importantes, por su distribución en las atmósferas contaminadas y por los conocidos efectos nocivos que provocan. Estos son: mercurio, cadmio, níquel y plomo presente fundamentalmente en los acumuladores de vehículos automotores, motorinas, equipos de audio, móvil, tabletas de PC y otros en los circuitos y aditamentos electrónicos fundamentalmente de computadoras y televisores de última generación.

El mercurio tiene una acción contaminante, fundamentalmente en aguas. Este metal influye en el aumento de enfermedades cardiovasculares e hipertensión, e interfiere además en el metabolismo apropiado del Zn y del Cu, ambos esenciales para la salud. El más común de estos contaminantes es el plomo.

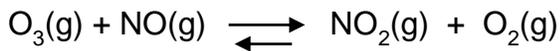
#### *Contaminantes secundarios*

El oxígeno atómico es una especie química extremadamente reactiva, la cual puede experimentar las siguientes reacciones:



El ozono es un agente oxidante muy fuerte y reactivo. Se encuentra presente en la atmósfera en pequeñas cantidades, principalmente generado durante tormentas eléctricas por la descarga de rayos. En las reacciones fotoquímicas del "smog", el contenido de  $\text{O}_3$  en la atmósfera aumenta hasta niveles peligrosos, debido a que uno de

los mecanismos naturales de su eliminación está parcialmente bloqueado. Normalmente, esta reacción de eliminación es:



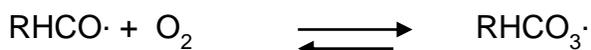
Así, en situaciones normales, se efectúa un proceso cíclico desde  $\text{NO}_2$  a  $\text{NO}$  y de este a  $\text{NO}_2$ . En el ciclo del "smog", esto se interrumpe por la reacción del  $\text{NO}$  con los hidrocarburos. Actualmente, se piensa que el ozono es el agente primario del "smog" que daña la vegetación y que se manifiesta por decoloración de la superficie de las hojas. Otros efectos dañinos del ozono se atribuyen también a sus propiedades oxidantes, como son una disminución de la vida útil del caucho, que se manifiesta en agrietamiento y decoloración de las telas. En los seres humanos y los animales, esta sustancia produce irritación a la vista y al sistema respiratorio.

El ozono se relaciona, generalmente, con el aire puro y también los aparatos que producen ozono se consideran como "purificadores de aire". De hecho, como señalamos anteriormente, el ozono es producido en forma natural en el aire libre durante descargas eléctricas, y es probable que su olor picante característico, en tales condiciones, se haya relacionado con el aire libre y con la acción purificadora de los aguaceros. El  $\text{O}_3$  es una sustancia químicamente reactiva que, en ocasiones, se utiliza para combatir el olor de los gases de escape (como los que provienen del tratamiento de aguas negras), oxidándolos en productos de olor menos agresivo, antes de ser liberados en la atmósfera. Las concentraciones de ozono necesarias para este tratamiento varían entre 10 y 20 ppm. Tales concentraciones son rápidamente fatales para el ser humano.

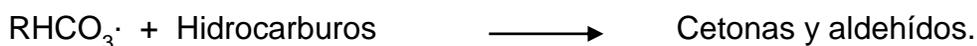
Una vez iniciada, la cadena de reacciones del "smog" fotoquímico puede continuar especialmente si los hidrocarburos son de alta reactividad, como son los alquenos. El oxígeno atómico producido en la etapa reacciona con estos hidrocarburos para formar un radical libre oxidado del hidrocarburo, según la reacción:



Estas especies son altamente reactivas, y en presencia de  $\text{O}_2$ , dan origen a otra conocida como radical peroxiacilo, aún más reactiva:



Este radical peroxiacilo puede reaccionar así con una gran variedad de especies químicas, que dan origen a varios productos en reacciones terminales de la cadena. Por eje:



### *Importancia del ozono en la estratósfera. Efectos sobre la salud*

Esta molécula es un oxidante muy potente que, en la troposfera, afectará tanto a la vegetación natural como a la producción de cultivos e incluso a la salud humana. En función de la concentración y el tiempo de exposición a los gases, los daños serán más o menos perjudiciales. Puede producir tos, irritaciones en la faringe, irritaciones en la garganta y los ojos; dificultades respiratorias, empeoramiento de la función pulmonar o síntomas de malestar general.

Estudios en animales indican que el ozono también puede provocar edema pulmonar, que puede aparecer hasta veinticuatro horas más tarde de la exposición. La disminución en la función respiratoria no parece ser más pronunciada en fumadores o personas con desórdenes pulmonares preexistentes. A concentraciones más altas puede aparecer función renal reducida, fatiga extrema, mareo, inhabilidad para dormir o cianosis.

El ozono (O<sub>3</sub>) es un potente oxidante que reacciona con proteínas y lípidos, particularmente con membranas biológicas. Una pequeña cantidad se absorbe en la sangre; su reactividad extrema limita su habilidad de acumularse. Es posible que haya efectos secundarios caracterizados por un defecto en la disociación del oxígeno de la oxihemoglobina. Incluso en niveles de exposición de ozono de 0.1 ppm, puede resultar en un envejecimiento prematuro si la exposición es lo suficientemente prolongada.

El nivel de riesgo depende de varios factores:

- La cantidad de contaminación en el aire.
- La cantidad de aire que respiramos en un momento dado.
- La salud general.

Otras maneras menos directas en que las personas están expuestas a los contaminantes del aire son:

- El consumo de productos alimenticios contaminados con sustancias tóxicas del aire que se han depositado donde crecen.
- Consumo de agua contaminada con sustancias del aire.
- Contacto con suelo, polvo o agua contaminados.

Los síntomas más comunes que se presentan en la salud humana a causa de la contaminación atmosférica son: mareos fuertes e intensos dolores de cabeza y si el aire contaminado se inhala en gran cantidad puede ocasionar la muerte.

En el caso particular de Cuba las investigaciones desarrolladas en estos últimos tres lustros por el Centro de Contaminación (Cecont) y Química de la Atmósfera, las causas fundamentales asociadas a los problemas de contaminación están relacionadas con errores de planificación territorial, el uso de tecnologías obsoletas sobre todo en las termoeléctricas y transporte junto a carencias de sistemas de tratamiento eficiente. Se

corroboró por parte de especialistas, que las mayores emisiones de gases contaminantes a la atmósfera están dadas por el dióxido de azufre (SO<sub>3</sub>) seguido por dióxido de dinitrógeno (NO<sub>2</sub>) y monóxido de carbono (CO) asociado a la quema de combustible fósil (Peláez, 2022).

Moa, Mariel y Nuevitas son los máximos emisores de estos gases y detrás se encuentra Matanzas y Cienfuegos con indicadores desfavorables. Actualmente expertos del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA) evalúan las consecuencias medioambientales del incendio de grandes proporciones que inició el 5 de agosto del 2022, en la base de Supertanqueros de Matanzas. También monitorea el Instituto Nacional de Higiene y Epidemiología y Microbiología la calidad del aire en la zona, el Ministerio de Agricultura evalúa lo relacionado con el suelo, la sanidad vegetal y animal. De manera preliminar se afectaron algunos parámetros debido a la quema de combustible, se activaron 7 estaciones meteorológicas para el estudio de las lluvias.

El país llegó a disponer de una red urbana destinada al control del aire que funcionó efectivamente hasta la década de los 80 del pasado siglo colapsando con el llamado período especial, actualmente se trabaja bajo la dirección del Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA) para rediseñar y rehabilitar el sistema nacional de monitoreo y dentro de él, al Sistema Nacional de Vigilancia de la Contaminación Atmosférica (SINVCA). Compuesta por 5 estaciones principales, 11 estaciones secundarias que verifican el comportamiento de las emisiones de gases y aerosoles, así como la composición química de la lluvia. Los resultados de los estudios cualitativos y cuantitativos de la contaminación atmosférica son de suma utilidad para las labores de ordenamiento territorial, la mitigación del cambio climático, la gestión ambiental, la empresarial y el mejoramiento de la calidad del aire y de vida de la población, asentada en lugares más complejos.

Lograr revertir la calidad del aire es imprescindible, no solo reactivar y modernizar el sistema de monitoreo, también urge priorizar, mediante la aplicación de soluciones integrales el tratamiento de las emisiones industriales en los planes de la economía nacional, fortalecer las investigaciones interdisciplinarias y disponer de un decreto ley específico sobre la protección de la atmósfera.

### **Consideraciones finales**

Las ideas expuestas contribuirán a la toma de conciencia que permitirá un nuevo cambio de actitud hacia el medio ambiente en que se vive. En correspondencia con esto, se hace necesario capacitar a todas las personas, no solo las que viven en una comunidad, también las de las ciudades por los efectos que produce la contaminación con el uso y tratamiento de productos y sustancias, que tienen un efecto dañino para la vida en general y para que asuman responsabilidades respecto a los problemas del medio ambiente. De esta forma, podrán realizar breves diagnósticos ambientales y con ello contribuir a la participación en la prevención de los problemas ambientales locales que puedan incidir en la salud del planeta.

## Referencias

Manahan, S. E. (2010). *Contaminación del aire*. Recuperado de <https://actualidad.rt.com/galerias/304098-peligro-aire-grandes-urbes-mundo-polucion/amp>

Online Dictionary (2010). Recuperado de <http://www.merriam-webster.com>

Organización Mundial de la Salud (OMS, 1997). *Calidad de vida*. Recuperado de <https://envejecimiento.csic.es>

Peláez, O. (2022). ¿Cómo se comporta la calidad del aire en Cuba? *Granma*, 3-4.

Real Academia Española (2014). *Diccionario de la lengua española*. Madrid: Espasa.