



# Contaminantes atmosféricos que ocasionan efectos genotóxicos y mutagénicos en la humanidad

## Riesgo de cáncer y mutación por contaminantes ambientales

HUANCA COPA, GABY PAMELA<sup>1</sup>

### Resumen

Los avances de la tecnología industrial incrementan la concentración y número de contaminantes, excediéndose los valores permisibles (100 mg/m<sup>3</sup>); por tanto provocando alteraciones en los organismos humanos y de esta forma el desarrollo de mutaciones y cáncer en el ser humano. El incremento de la contaminación del aire se ha ligado a problemas de la función pulmonar y aumentos en los ataques cardíacos. La calidad general del aire ha mejorado en los últimos 20 años pero las zonas urbanas son aún motivo de preocupación.

La contaminación atmosférica es la presencia en la atmósfera de sustancias (físico, química o biológico) o combinaciones que puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población. Aunque puede ocurrir por cau-

### Abstract

Advances in manufacturing technology and increasing the number of pollutants concentration, exceeding the allowable values (100 mg/m<sup>3</sup>); thus causing changes in human bodies, and thus the development of cancer and mutations in humans. The increase in air pollution problems has been linked to lung function and increases in heart attacks. The overall air quality has improved over the last 20 years but urban areas are still a concern.

Air pollution is the presence in the atmosphere of substances (physical, chemical or biological) or combinations that may be harmful to health, safety or welfare of the population. Although it can occur by natural causes, such as volcanic eruptions, forest fires unprovoked or activity of some living things, but most of the current pollution

<sup>1</sup> Estudiante de Química Farmacéutica (FCFB)

sas naturales, como las erupciones volcánicas, los incendios forestales no provocados o la actividad de algunos seres vivos, pero mayor parte de la contaminación actual (la más constante y dañina) se debe a las actividades del ser humano, sobre todo a los procesos industriales y a la quema de combustibles fósiles.

(the most consistent and damaging) is due to human activities, especially industrial processes and the burning of fossil fuels.

### **PALABRAS CLAVE**

exhausto vehicular,  
mutágeno, tumorigénicos,  
mutacarcinógenos

### **KEY WORDS**

vehicular exhauster, mutagenic,  
tumorigenic, mutacarcinógenos

## **INTRODUCCIÓN**

La contaminación atmosférica es la presencia de sustancias en una cantidad que implique molestias o riesgo para la salud de las personas y de los demás seres vivos, que puedan atacar a distintos materiales, reducir la visibilidad o producir olores desagradables. El nombre de la contaminación atmosférica se aplica por lo general a las alteraciones que tienen efectos perniciosos en los seres vivos y los elementos materiales, y no a otras alteraciones inocuas. Los principales mecanismos de contaminación atmosférica son los procesos industriales que implican combustión, tanto en industrias como en automóviles y calefacciones residenciales, que generan dióxido y monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y azufre, entre otros contaminantes.

La contaminación puede surgir a partir de ciertas manifestaciones de la naturaleza (fuentes naturales) o bien debido a los diferentes procesos productivos del hombre (fuentes antropogénicas) que conforman las actividades de la vida diaria. Las fuentes que generan contaminación de origen antropogénico más importantes son: industriales (frigoríficos, mataderos y curtiembre, actividad minera y petrolera), comerciales (envolturas y empaques), agrícolas (agroquímicos), domiciliarias (envases, pañales, restos de jardinería) y fuentes móviles (gases de combustión de vehículos). Los humanos están expuestos a un amplio rango de mezclas ambientales complejas, liberados de fuentes industriales, mezclas presentes en el condensado del humo del cigarrillo, los componentes tóxicos de alimentos asados, emisiones vehiculares, residuos de petróleo, entre otras.

Las principales fuentes de contaminación del aire en las ciudades se atribuyen a las que se consideran como fijas (la industria, los desechos domésticos, los agroquímicos, combustiones, entre otros) y las móviles, producidas por el parque automotor (vehículos de motor de gasolina o diesel). Los contaminantes emitidos por ambas fuentes son sustancias inorgánicas como óxidos de azufre, nitrógeno, carbono y sustancias orgánicas adheridas a material particulado suspendido (MPS) constituido por los aerosoles. (Quintero, 2009: 34)

Las partículas de polvo forman parte del material particulado respirable, que se encuentran mutacarcinógenos como los hidrocarburos policíclicos

aromáticos (HPA), entre ellos el Benzo(a) pireno (BP). Estas emisiones, además de permanecer suspendidas en el aire, también afectan la mutagenicidad en suelos y agua. Algunos de estos contaminantes atmosféricos, como los HPA, requieren activación metabólica del huésped a través de diferentes vías, que involucran varias enzimas (citocromo P450, epóxido hidrolasas) para producir especies electrofílicas altamente reactivas (metabolitos carcinogénicos definitivos) capaces de interactuar con macromoléculas celulares, particularmente, ácidos nucleídos y proteínas, y ejercer, de esta manera, sus efectos tumorogénicos, carcinogénicos y mutagénicos. (Flowers- Geary, 1996:55-72)

El exhosto vehicular es considerado como un factor causante de enfermedades alérgicas asociadas con rinitis, asma, faringitis, además de varios desórdenes en el sistema digestivo (Watanabe, 2003:97). Adicionalmente, la exposición ocupacional y medioambiental a HPA o sustancias que los contengan puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer en humanos (Bolognesi, 1999:187).

## CONTEXTUALIZACIÓN

Los contaminantes del aire se clasifican en primarios y secundarios: los primarios son aquellos en los que una fuente emite directamente al ambiente, mientras que los secundarios se forman en el ambiente a través de reacciones químicas y fotoquímicas de los contaminantes primarios (Pereira, 2004:75).

En las áreas urbanas, el material particulado primario está conformado, principalmente, por carbón (hollín) que emite el transporte automotor; el material de los caminos sin asfaltar y el procedente de las operaciones de molienda de piedras, de construcción y de la metalurgia. El material particulado secundario se forma en la atmósfera con las partículas finas de los gases e incluye a los sulfatos, nitratos y al carbón (Environmental Protection Agency, 2004:1).

### 1. Principales contaminantes del aire

**Monóxido de Carbono (CO):** Es un gas inodoro e incoloro. Cuando se lo inhala, sus moléculas ingresan al torrente sanguíneo, donde inhiben la distribución del oxígeno. En bajas concentraciones produce mareos, jaqueca y fatiga, mientras que en concentraciones mayores puede ser fatal. Se produce como consecuencia de la combustión incompleta de combustibles a base de carbono, tales como la gasolina, el petróleo y la leña, de productos naturales y sintéticos, como por ejemplo el humo de cigarrillos (Mercado, 2001:341-411).

**1.2. Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>):** principal gas causante del efecto invernadero. Se origina a partir de la combustión de carbón, petróleo y gas natural. En estado líquido o sólido produce quemaduras, congelación de tejidos y ceguera. La inhalación es tóxica si se encuentra en altas concentraciones, pudiendo causar incremento del ritmo respiratorio, desvanecimiento e incluso la muerte (Mercado, 2001:341-411).

**1.3. Clorofluorcarbonos (CFC):** Son sustancias químicas que se utilizan en gran cantidad en la industria, en sistemas de refrigeración, aire acondicionado

y en la elaboración de bienes de consumo. Cuando son liberados a la atmósfera, ascienden hasta la estratosfera. Una vez allí, los CFC producen reacciones químicas que dan lugar a la reducción de la capa de ozono que protege la superficie de la Tierra de los rayos solares (Mercado, 2001:341-411).

## 2. Contaminantes atmosféricos peligrosos (HAP):

Son compuestos químicos que afectan la salud y el medio ambiente. Pueden causar cáncer, malformaciones congénitas, trastornos del sistema nervioso y hasta la muerte. Las emisiones de HAP provienen de fuentes tales como fábricas de productos químicos, productos para limpieza en seco, imprentas y vehículos (automóviles, camiones, autobuses y aviones) (Pereira, 2004:75-83).

**2.1. Plomo:** Es un metal de alta toxicidad que ocasiona una diversidad de trastornos, especialmente en niños pequeños. Puede afectar el sistema nervioso y causar problemas digestivos. El contenido de plomo de la gasolina se ha ido eliminando gradualmente, lo que ha reducido considerablemente la contaminación del aire (Pereira, 2004:75-83).

**2.2. Ozono (O<sub>3</sub>):** Este gas es una variedad de oxígeno, contiene tres átomos de oxígeno en lugar de dos. El ozono de las capas superiores de la atmósfera, donde se forma de manera espontánea, constituye la llamada “capa de ozono”, la cual protege la tierra de la acción de los rayos ultravioletas. Sin embargo, a nivel del suelo, el ozono es un contaminante de alta toxicidad que afecta la salud, el medio ambiente, los cultivos y una amplia diversidad de materiales naturales y sintéticos. El ozono produce irritación del tracto respiratorio, dolor en el pecho, tos persistente, incapacidad de respirar profundamente y un aumento de la propensión a contraer infecciones pulmonares (Pereira, 2004:75-83).

**2.3. Oxido de nitrógeno (NO<sub>x</sub>):** Proviene de la combustión de la gasolina, el carbón y otros combustibles. Es una de las principales causas del smog y la lluvia ácida (Pereira, 2004:75-83).

**2.4. Partículas:** incluye todo tipo de materia sólida en suspensión en forma de humo, polvo y vapores. Además, de reducir la visibilidad y la cubierta del suelo, la inhalación de estas partículas microscópicas, que se alojan en el tejido pulmonar, es causante de diversas enfermedades respiratorias (Pereira, 2004:75-83).

**2.5. Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>):** Es un gas inodoro cuando se halla en bajas concentraciones, pero en alta concentración despiden un olor muy fuerte. Se produce por la combustión de carbón, especialmente en usinas térmicas. Causante del smog y la lluvia ácida (Pereira, 2004:75-83).

**2.6. Compuestos orgánicos volátiles (VOC):** Son sustancias químicas orgánicas. Los compuestos químicos volátiles emiten vapores con gran facilidad. La emanación de vapores de compuestos líquidos se produce rápidamente a temperatura ambiente.

Los contaminantes externos como el dióxido de azufre, ozono, óxido nítrico, monóxido de carbono y los compuestos orgánicos volátiles, provienen, sobre todo, de las emisiones de automotores y centrales eléctricas, de la quema al aire libre de desechos sólidos, del sector de la construcción y actividades relacionadas (Pereira, 2004:75).

La exposición ocupacional y medioambiental a HPA o sustancias que los contengan puede incrementar el riesgo de desarrollar cáncer en humanos. El benceno es uno de los químicos que más contaminan el ambiente. Es usado como materia prima en la síntesis de varios compuestos y es esencial en la gasolina, también se asocia con desarrollo de leucemia en humanos y sus metabolitos inducen daño en el ADN de células humanas y de ratón (Marston, 2001:1077).

### 3. Antecedentes históricos

La contaminación ambiental ha surgido con la historia de la humanidad, desde el momento en el que el hombre utiliza el fuego como elemento para su subsistencia. Esto ocasiona la producción de sustancias derivadas de la combustión de compuestos orgánicos. A finales del siglo XIX, con el inicio de la primera Revolución Industrial, se establece que el uso generalizado del carbón como combustible y la inducción de varios procesos químicos, producen emisiones de gases sulfurosos y humos negros, lo que incrementa los problemas de salud (CEPIS, 2002:2).

La relación entre exposición a agentes químicos y cáncer se inicia con una observación efectuada por el médico británico Percival Pott en Londres en 1775, quien describió una incidencia elevada de cáncer en los genitales, epiteloma de escroto, entre los deshollinadores de cierta edad, que prácticamente no se daba en otros pacientes que acudían a su consulta.

Dedujo que, tras años y años de exposición al hollín, algunos trabajadores acababan por desarrollar este peculiar y poco común tipo de tumor maligno (Koss, 1999:41).

Durante la primera guerra mundial surge en Londres la palabra "smog", que está formada por la contracción de "fog" (niebla) y "smoke" (humo), que hoy se utiliza en la mayor parte de los países industrializados para designar a cualquier zona sometida a un problema de contaminación atmosférica y que, con el tiempo, se instaura en aquellas ciudades con un aumento masivo en el uso de automóviles.

### 4. Contaminantes ambientales y mutaciones

La hipótesis de que los mutágenos presentes en el ambiente son responsables de las mutaciones que explican el desarrollo del cáncer, soportada por un gran número de estudios epidemiológicos observacionales y experimentales, y el hecho de que pocos cánceres son hereditarios, es decir, transmitidos por mutaciones en genes de células germinales, apoyaría la hipótesis de que la mayoría de los cánceres se deben a factores ambientales (Minamoto, 1999:20).

Las mutaciones que ocurren en el material genético de una célula, pasan a las células hijas. Dichas mutaciones se acumulan y cuando estas alteraciones comprometen genes que actúan porque regulan la proliferación celu-

lar (protooncogenes) y genes supresores tumorales, se favorece la formación de células cancerosas. Los protooncogenes son genes normales responsables de la codificación de proteínas nucleares, citoplasmáticas y de membrana, que intervienen en el mantenimiento del equilibrio de las funciones celulares (Seoanez, 2002:7).

Otras mutaciones que contribuyen al desarrollo de neoplasias son las que alteran enzimas asociadas con el proceso de detoxificación de los mutágenos, tales como glutatión -s-transferasa y algunas isoenzimas citocromo p450. Las alteraciones en proteínas involucradas en la reparación y replicación del ADN pueden contribuir a la carcinogénesis porque inducen inestabilidad genómica (Hartwell, 1994:266). Es importante tener en cuenta que las mutaciones acumuladas en las células germinales incrementan la presencia de enfermedades hereditarias, pero si éstas se acumulan en las células somáticas favorecen la aparición del cáncer.

## 5. Agentes tóxicos y salud

Los efectos de los compuestos orgánicos volátiles para la salud varían según sus características y comprenden desde un alto grado de toxicidad hasta ausencia de efectos conocidos. Esos efectos dependerán de la naturaleza de cada uno de ellos y del grado y del período de exposición al mismo. Los contaminantes tóxicos actúan como agentes ambientales no infecciosos que tienen variados efectos, desde la irritación hasta la muerte de las células y tejidos, incluso, el organismo.

Se define como tóxico cualquier agente capaz de producir una respuesta adversa en un sistema biológico. Estos agentes pueden ser formas de energía como calor y radiaciones, toxinas y vegetales como algunos alcaloides o productos sintéticos (xenobióticos). Existe una clase particular que produce algún tipo de alteración en el material genético o en sus componentes asociados, por lo que se les reconoce como agentes genotóxicos. Dentro de este término se incluyen los agentes que interaccionan tanto directa como indirectamente con el ADN, lo que provoca mutaciones y los que interfieren en algunos procesos enzimáticos de la reparación o en la génesis o polimerización del material proteico involucrado en la segregación cromosómica (Gonzalez, 2004:23)

La exposición a largo plazo a estos agentes genotóxicos, puede producir lesiones del hígado, riñones y el sistema nervioso central, entre otros. La exposición a corto plazo puede generar irritación de los ojos y vías respiratorias, dolor de cabeza, mareo, trastornos visuales, fatiga pérdida de coordinación, reacciones alérgicas de la piel, náusea y trastornos de la memoria (Hengstler, 2007:5).

Otros compuestos orgánicos volátiles sufren reacciones químicas complejas en la atmósfera y pueden causar efectos indirectos, en particular en la formación de oxidantes fotoquímicos, como el ozono. Este fenómeno es conocido comúnmente como "smog de verano".

Concentraciones altas de ozono en el suelo (troposférico), pueden dañar la vegetación y afectar la salud humana. Los miembros más vulnerables de la población, niños y ancianos, pueden experimentar síntomas tales como afecciones en ojos y garganta, así como serios problemas respiratorios (Valko, 2005:12).

De acuerdo con su efecto, los contaminantes tóxicos presentan diferentes clasificaciones:

a) **Mutágenos.** Sustancias que producen mutaciones en el material genético y alteran el control de la actividad celular, desde la producción de energía hasta su reproducción. Lo que conduce a un funcionamiento inadecuado de la célula. La alteración del material genético de una célula puede adoptar tres formas:

- Cambio en la composición química del ADN: se considera una mutación porque incluye el cambio en la constitución de las diferentes bases químicas que componen los genes.
- Alteración del ajuste físico del ADN: se considera un hecho clastogénico (inductor de rupturas cromosómicas).
- Adición o supresión de cromosomas: formación de una célula con aneuploidías (presencia de un número anormal de cromosomas (CEPIS, 2002:4-5).

b) **Carcinógenos.** Son sustancias químicas que inducen cáncer, también llamado neoplasia o tumor (crecimiento anormal e incontrolado de células). Todos los tipos de cáncer están relacionados con factores ambientales que pueden estar asociados con el estilo de vida, la exposición industrial y ocupacional (Seoanez, 2002:8).

El cáncer presenta relación con los genes, tanto por cambios epigenéticos (alteración en la expresión de ciertos genes) como por cambios genéticos inducidos por mutaciones que pueden afectar a genes como: protooncogenes (aquellos que inducen la aparición de cáncer) y genes oncosupresores (supresores de tumores).

Como resultado de la mutación, los genes expresan proteínas alteradas que modifican la división celular y ocasionan una proliferación excesiva o reducción en la muerte celular programada (apoptosis) como ocurre en la mutación del gen supresor que sintetiza la proteína p53.

La carcinogénesis empieza con una primera etapa en la que un químico (iniciador) ocasiona una alteración genética. La etapa siguiente involucra una sustancia química promotora (carcinógeno que trabaja para aumentar la incidencia de cáncer después de que ha ocurrido la enfermedad). El desarrollo de cáncer requiere, exposiciones repetidas por un periodo prolongado y los efectos pueden ser reversibles cuando cesa la exposición. Algunos carcinógenos para humanos son: Asbesto, Benceno, Berilio, Cromo, Cloruro de Vinilo (Seoanez, 2002:8).

c) **Teratógenos.** Estos agentes que dañan directamente al feto en dosis que no afectan a la madre, son un tipo de sustancias tóxicas del desarrollo. Entre los efectos teratogénicos se pueden mencionar: órganos o estructuras tisulares anormales, funcionamiento metabólico o químico deficiente y retardo mental.

Otros teratógenos químicos supuestos o conocidos incluyen la dioxina, el mercurio orgánico, el arseniato de sodio y varias sustancias contenidas en el humo del cigarrillo (Seoanez, 2002:9).

## DEDUCCIÓN

La investigación sobre el efecto carcinogénico y/o mutagénico de mezclas complejas de contaminantes antropogénicos, no es tarea fácil. Los efectos sobre la salud de los mutágenos presentes en mezclas complejas atmosféricas, dependen de las interacciones químicas generadas entre ellos, de sus características biológicas y químicas, de la especie animal, del sitio afectado, del nivel de expresión de las enzimas involucradas en la activación y detoxificación de estos mutágenos, entre otros.

La exposición a contaminantes ambientales puede llevarse a cabo por varias vías: inhalación, ingestión o absorción dérmica, etc., que ubica a varios sectores de la población como blanco de alteraciones, causadas por la exposición crónica a estas fuentes contaminantes. El problema frecuente es la dificultad para identificar los componentes tóxicos en una mezcla compleja (efluentes, basura sólida, aire contaminado, suelo contaminado) y la poca disponibilidad de datos acerca del comportamiento genotóxico de las sustancias en una mezcla.

## REFERENCIAS

- Bustamante, O. (2006). Aire contaminado. Disponible en: <http://aire.contaminacion.blogspot.com/>. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2013
- Centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente. (2002). Introducción a la toxicología de la contaminación del aire. Lima: CEPIS. Pp 2-6
- González, R; Romay, C y Díaz S. (2004). Estudios sobre genotoxicidad del ozono. Rev Cubana Invest Biomed. N°3. Vol 23. Cuba. Pp 177-83.
- Hengstler, JG. (2007) Nueva categorización de los carcinógenos genotóxicos. Leipzig: Sociedad Iberoamericana de Información Científica. Pp 5
- Koss, G y Tesseraux, I. (1999) Toxicología. San Diego: Academia Press. pp 603
- Mercado, M. (2001). Contaminación de recursos. Disponible en: <http://www.jmarcano.com/recursos/contamin/catmosf.html>. Fecha de consulta: 8 de marzo de 2013. Pp. 341-411
- s/a. (2001). Contaminación atmosférica. Disponible en: <http://investigayaprende.wordpress.com/webquest/1%C2%BAeso/ciencias-naturales/la-contaminacion-atmosferica-y-sus-efectos/> Fecha de consulta: 11 de marzo de 2013
- Seoanez, M. (2002). Tratado de la contaminación atmosférica: problemas, tratamiento y gestión. Madrid: Mundi-prensa. Pp 5-9.
- Vives, I; Grimalt, JO y Guitart R. (2001). Los hidrocarburos aromáticos policíclicos y la salud humana. Europa: INS. Pp 45-51
- Zuluaga, M; Valencia, AM y Ortiz, IC. (2009). Efecto genotóxico y mutagénico de contaminantes atmosféricos. Revista Redalyc. N°1. Vol 28. Colombia, pp.33-41