

# Daños biológicos producidos por los contaminantes atmosféricos

Alfredo Feria-Velasco y Ruth de Celis-Carrillo

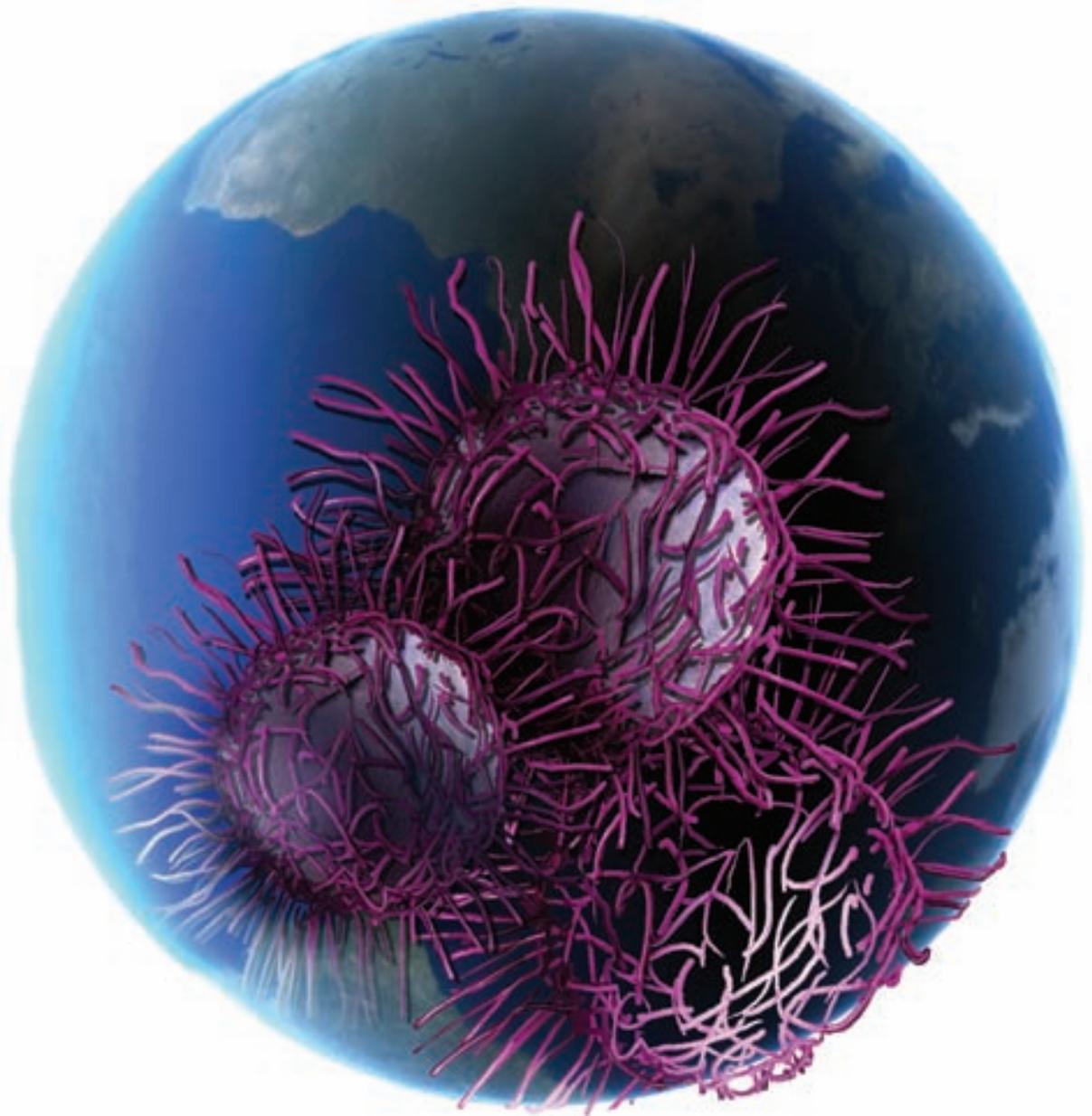
Los perjuicios a la salud que causan los contaminantes resultan de la combinación de las propiedades químicas de las sustancias que los componen y las características de los individuos expuestos a ellas. Es importante conocer el proceso que produce el daño para poder prevenirlo.

Los efectos que los contaminantes ambientales –y en particular los que se encuentran en la atmósfera–, tienen sobre la salud dependen de varios factores, algunos relacionados con los contaminantes mismos y otros con las características de los individuos expuestos.

## **Factores relacionados con los individuos**

En lo que se refiere a los individuos expuestos a los contaminantes, en particular el ser humano, se deben tener en consideración las condiciones de salud, de nutrición y las características fisiológicas de los mecanismos de compensación, que incluyen los mecanismos fisiológicos homeostáticos (de conservación del equilibrio de los procesos corporales).

La exposición constante a sustancias tóxicas y, en general, a compuestos contaminantes causa problemas de salud a las personas sanas, y mucho más a individuos con algún padecimiento. A este respecto, en estudios epidemiológicos en niños en que se pone de manifiesto la transición epidemiológica en tres grupos en función de la edad (menores a 1 año, de 1 a 4 años y de 4 a 14 años) y de acuerdo con las causas de muerte, al comparar las cifras de 1971 con las del año 2000, en México se observó un incremento progresivo de las muertes por enfermedades congénitas y sus complicaciones, así como las relacionadas con cáncer, mientras



que en ese periodo disminuyeron las muertes por accidentes y por enfermedades agudas respiratorias y gastrointestinales. Sería muy interesante analizar hasta qué punto se puede encontrar algún grado de asociación entre esas cifras y la participación de la creciente contaminación atmosférica en las ciudades más pobladas del país.

Es importante tener en cuenta que las enfermedades presentes en los individuos, dependiendo de la naturaleza de las mismas, la

Es importante considerar que entre las fuentes de producción de contaminantes atmosféricos peligrosos se encuentran el humo del tabaco, el humo proveniente de los vehículos motorizados y los vapores de productos como pinturas, detergentes, así como el humo de velas y veladoras

severidad y el tiempo de padecerlas son factores muy importantes que determinan la salud de las personas. Algunas de estas patologías adquieren más relevancia cuando se encuentran más relacionadas o asociadas a las patologías que producen los agentes contaminantes. Por ejemplo, un individuo que padece asma bronquial, en condiciones de contaminación atmosférica considerable, verá agravado su padecimiento y quizá incluso requerirá hospitalización. En cambio, una persona que tiene artritis reumatoide, a pesar de que las condiciones atmosféricas similares puedan causarle algunas alteraciones en su biología, probablemente no serán tan severas como las observadas en el individuo con asma bronquial. Una cosa semejante se observa en enfermedades que de por sí deterioran considerablemente la salud de las personas, como los tumores malignos, las enfermedades crónico-degenerativas en etapas avanzadas, las deficiencias inmunológicas por diferentes razones, etcétera.

El estado de nutrición es crucial en el enfrentamiento que tienen los individuos al exponerse a condiciones de contaminación atmos-

férica. Por ejemplo, individuos con nutrición pobre (hipo-nutridos) o desnutridos presentan alteraciones más severas ante las mismas condiciones de contaminación atmosférica que los que se encuentran bien nutridos.

### **Factores relacionados con los contaminantes ambientales**

En relación con las características de los contaminantes, su acción sobre los diferentes sistemas biológicos depende de su naturaleza fisicoquímica, de su concentración en un tiempo determinado y del tiempo que los individuos están expuestos a estos contaminantes, trátase de seres humanos o de animales y plantas.

No obstante que existen diferentes tipos de elementos contaminantes en la atmósfera, los que con mayor frecuencia y más intensidad repercuten sobre la salud de la población son los

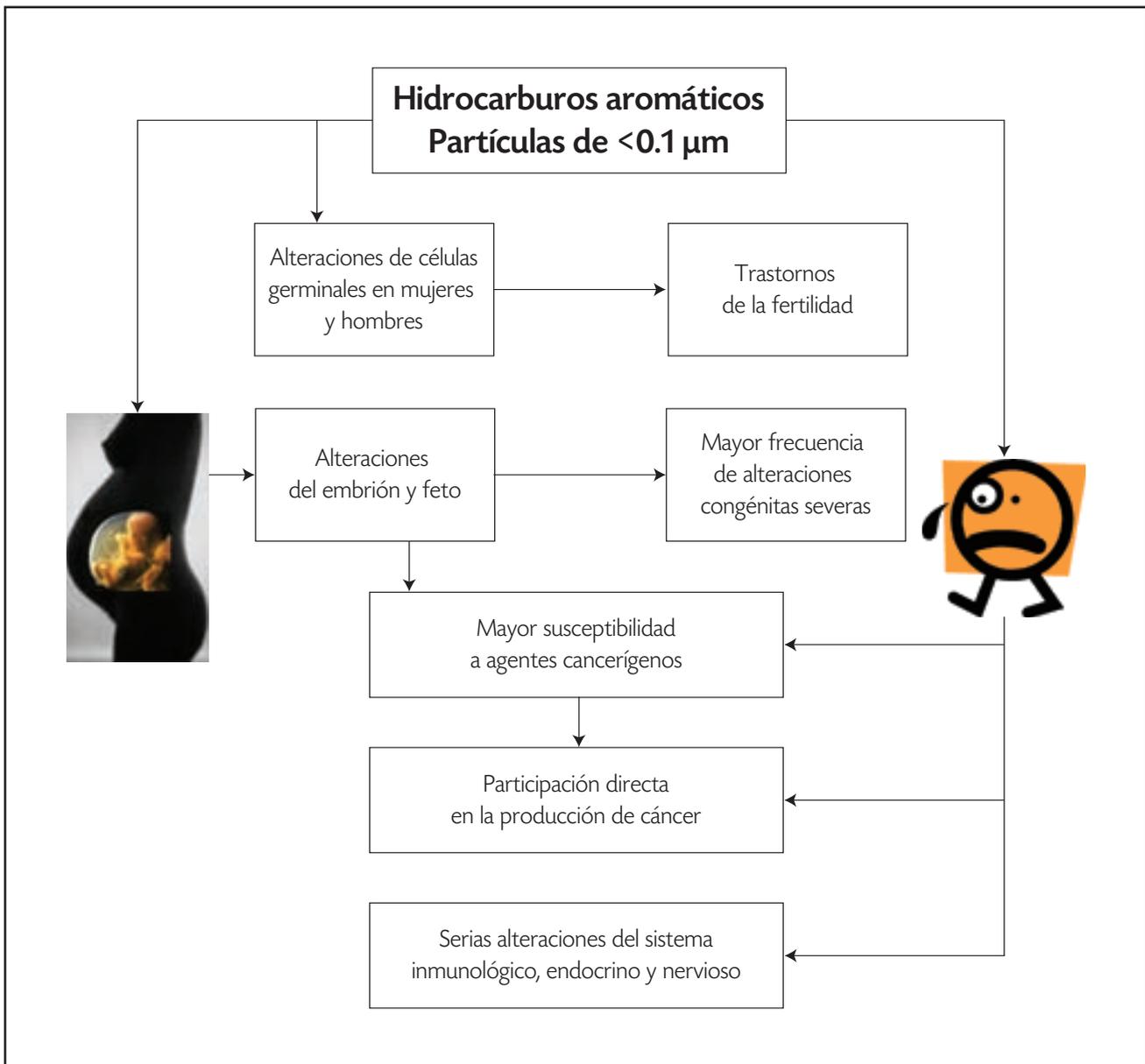
clasificados como de naturaleza química, como los hidrocarburos aromáticos (bencenos, toluenos, xilenos, pirenos, etcétera) y las partículas suspendidas pequeñas, como las de carbón y otro tipo de compuestos derivados de la combustión y la quema de materiales orgánicos e inorgánicos. En este sentido, el humo proveniente de las ladrilleras en las diferentes poblaciones de México contiene una impresionante cantidad de contaminantes peligrosos, pues resulta de la quema de leña, pedacería de madera, plásticos y hasta llantas. Es importante considerar que entre las fuentes de producción de contaminantes atmosféricos peligrosos se encuentran el humo del tabaco, el humo proveniente de los vehículos motorizados y los vapores de productos para el hogar como pinturas, detergentes, productos de pulido y limpieza, así como el humo de velas y veladoras.

Los hidrocarburos aromáticos, que en general son liposolubles, es decir, que se disuelven en medios grasos, al ser incorporados al organismo por cualquier vía, ya sea cutánea, conjuntival, respiratoria o digestiva, pasan libremente por las membranas de las células del tejido adiposo, donde se almacenan y donde pueden permanecer por largo tiempo e irse liberando de manera paulatina.

Una vez que entran a las células sin dificultad, y dependiendo de su estructura química, pueden actuar sobre diferentes sistemas bioquímicos y moleculares del citoplasma celular o del núcleo, e interferir así con el buen funcionamiento de las dife-

rentes vías de señalización intracelular. Cuando afectan la estructura química de los elementos relacionados con la fabricación de proteínas, y específicamente a nivel de los genes, pueden producir mutaciones y dar lugar a procesos patológicos con diferentes grados de severidad, dependiendo de varios factores. Los efectos pueden ir desde la formación de proteínas anormales que no tienen ningún efecto crítico sobre la biología de los individuos hasta la producción de tumores, tanto benignos como malignos, en cuyo caso, cuando se trata de cáncer, tienen considerables efectos sobre la salud de la población.

En lo que se refiere a las partículas suspendidas en la atmósfera, se ha dado mucha importancia a aquellas cuyo tamaño es menor a 10 micrómetros (un micrómetro es la milésima parte de un milímetro). Las partículas mayores a 10 micrómetros quedan atrapadas en el material mucoso del aparato respiratorio, o bien inducen el reflejo de tos y se eliminan con cierta facilidad. En cambio, las partículas de menos de 10 micrómetros de diámetro pudieran pasar



**Figura 1.** Mecanismos de producción de alteraciones de mediano y largo plazos por la participación de hidrocarburos aromáticos y partículas menores a 0.1 micrómetros en el incremento de alteraciones congénitas severas, tumores y otras patologías en niños.

esas barreras y localizarse en lugares más profundos en el aparato respiratorio y ahí producir alteraciones de mayor consideración, e incluso inducir procesos de tipo asmático o agravar el asma bronquial preexistente en algunas personas.

Conforme disminuye el tamaño de las partículas, la situación se va haciendo más difícil de controlar desde el punto de vista de la salud, y los efectos que tiene sobre los individuos expuestos son de mayor severidad. Las partículas menores de 5 micrómetros y las meno-

res de 2 y 1 micrómetros son mucho más dañinas que las partículas mayores; sin embargo, éstas pudieran aún permanecer en sitios profundos del aparato traqueobronquial y sus efectos quedar circunscritos a la esfera respiratoria: bronquitis, alveolitis, neumonitis y reacciones del tejido conjuntivo interalveolar. En ocasiones, las alteraciones pueden ser de una severidad tal que interfieran con las funciones pulmonares y llegar a producir hasta una insuficiencia respiratoria.

De mayor consideración es la exposición a partículas menores a 0.1 micrómetros, ya que atraviesan la interfase alveolo capilar en los pulmones, pasan a circulación sanguínea y se dis-



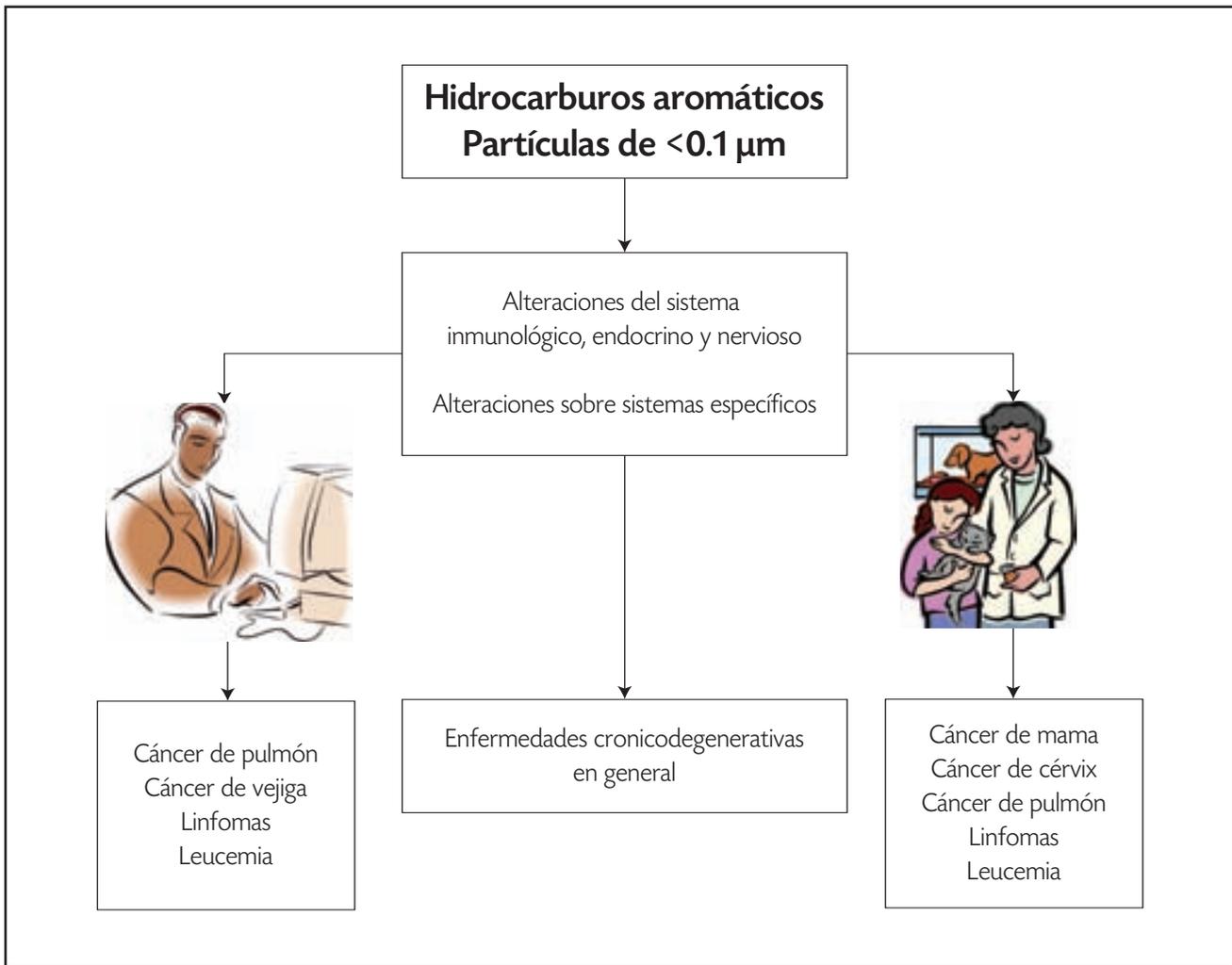
tribuyen por todo el organismo, alcanzando así todos los órganos del individuo. Según la naturaleza química de estas sustancias y por la facilidad o dificultad que tengan para penetrar en determinados territorios de los tejidos, éstas pueden alcanzar sitios y vías moleculares relacionadas con diferentes procesos fisiológicos. Así, las alteraciones pueden manifestarse como padecimientos del sistema inmunitario, el aparato reproductor, el sistema nervioso central, etcétera. Más aún, pueden afectar elementos del genoma de las células y llegar a producir así tumores malignos o enfermedades que ponen en riesgo la salud de la población a largo plazo.

Las especies reactivas de oxígeno, los radicales libres y los productos del proceso conocido como lipoperoxidación, así como el óxido nítrico, son algunos de los elementos que dañan severamente a los diferentes componentes de las células y pro-

ducen así enfermedades, algunas tan severas que pueden producir la muerte.

### Cómo se producen las lesiones por la exposición a contaminantes atmosféricos

En los incendios forestales, en la quema de pastizales y hierbas indeseables, así como en la quema de basura y especialmente en la quema de llantas, tan común en ciertas épocas del año, es muy importante tomar en consideración que además de las partículas de carbón, resultantes de toda esta quema o proceso de incineración, hay presencia de derivados y



**Figura 2.** Mecanismos de producción de alteraciones de mediano y largo plazos por la participación de hidrocarburos aromáticos y partículas menores a 0.1 micrómetros en el incremento de tumores y otros tipos de patología en mujeres y hombres adultos.

compuestos de polímeros y sustancias que se pueden encuadrar en el grupo de los hidrocarburos. La mayor parte de ellos son aromáticos (término que se refiere a su estructura química), pero también hay otros tipos de sustancias y partículas muy pequeñas que son tóxicas para los diferentes aparatos y sistemas del organismo humano.

Como resultado de la actividad de los motores de combustión interna, se tiene la emisión de compuestos tales como disulfuro de oxígeno, óxidos de carbono, monóxido de nitrógeno y óxidos de azufre. Todos estos compuestos, al ponerse en contacto directo con la población o estar en contacto con el agua u otros mecanismos, generan sustancias y ácidos muy peligrosos y corrosivos, que de manera definitiva inciden sobre la salud de la población humana.

El ozono tiene una doble acción sobre la población humana. Cuando se encuentra in-

tegrado a la atmósfera, en las capas elevadas, constituye una barrera de defensa a los rayos ultravioleta de la luz solar y de esa manera evita que estos rayos incidan sobre las células de la piel del ser humano y sobre otros sistemas biológicos, evitando así la formación de lesiones, algunas de tipo inflamatorio, otras de tipo degenerativo y otras, las más importantes, de tipo tumoral, algunas de ellas cancerosas. Por otro lado, el ozono resultante de la emisión de productos de la combustión y de la actividad industrial, al ponerse en contacto con las células y tejidos del organismo humano contribuye a la producción de radicales libres y otros compuestos reactivos de oxígeno que ocasionan un estado de estrés oxidativo y lesionan así a los diferentes órganos, aparatos y sistemas. Dependiendo de la magnitud de la lesión, el tiempo y grado de exposición, así como la capacidad de respuesta y de defensa y resistencia de los tejidos afectados, las alteraciones celulares, tisulares y orgánicas variarán y se manifestarán en forma de procesos inflamatorios, degenerativos, alteraciones del crecimiento y desarrollo, y en algunas ocasiones se llegará a la producción de tumores, tanto benignos como malignos. Tal es el caso del cáncer de pulmón, de piel, de mama y de otros tejidos y órganos en que se incluyen algunos tipos de lesio-



nes proliferativas malignas como las del tejido linfoide, en el caso de leucemias y linfomas. Es alarmante ver cómo en los años recientes la frecuencia, incidencia y prevalencia de este tipo de lesiones, que anteriormente se presentaban en edades tardías de la vida, se ha estado presentando en grupos de edad cada vez menor, incluyendo niños y jóvenes.

Tanto a nivel genético, en que se incluyen las alteraciones cromosómicas, como en alteraciones de los genes, cada vez se tiene información que confirma el tipo de alteraciones que producen los agentes contaminantes atmosféricos. En algunas ocasiones es clara la participación de estas sustancias contaminantes, no de manera directa pero sí indirecta, en la producción de diferentes tipos de alteraciones.

### Conclusiones

Es clara la asociación entre los tipos y cantidad de contaminantes atmosféricos en ciertas regiones del país y con más intensidad en ciertas épocas del año, con el incremento de diferentes tipos de patologías en la población huma-

na expuesta. No obstante que este impacto se presenta en todas las edades, los grupos expuestos más vulnerables son los niños, las mujeres embarazadas y los ancianos.

Es un hecho que las manifestaciones agudas, principalmente cutáneas, conjuntivales y respiratorias, resultado de la exposición a los contaminantes atmosféricos, son las que más atraen la atención; los efectos a mediano y largo plazos son los más peligrosos, y por lo mismo son los que requieren una atención permanente.

Aunque las medidas preventivas corresponden a los ámbitos de gestión, regulación, administración y difusión de la información, en estas medidas se deben involucrar los diferentes sectores de la sociedad: el gubernamental, en todas sus dependencias y niveles; los sectores educativos y de salud, los grupos de investigación científica y tecnológica, los medios de comunicación y la población en general.



**Bibliografía**

- Barrett, J. C. y J. Huff (1991), "Cellular and molecular mechanisms of chemically induced carcinogenesis", *Renal Failure* 13:211-225.
- Calera, A. y E. Blount (2000), *Hormonas en el aire. Epidemia por sustancias químicas al final del siglo*, www.istas.ccoo.es/pe/num7/7pag6.htm. (Noviembre de 2001).
- Colborn, T. y C. Clement (eds.) (1992), "Chemically induced alterations in sexual and functional development: the wildlife/human connection", *Advances in modern environmental toxicology*, vol. 21, Princeton, Princeton Scientific Publishing.
- Colborn, T., S. Frederick, S. Vom y A. Soto (1993), "Development effects of endocrine disruptor chemicals in wildlife and human", *Environ. Health Perspect.*, 101:378-384.
- De Celis, R., A. Feria-Velasco, M. González-Unzaga, J. Torres-Calleja y N. Pedrón-Nuevo (2000), "Semen quality of workers occupationally exposed to hydrocarbons". *Fertil. Steril.* 73:221-228.
- De Celis, R., N. Pedrón-Nuevo y A. Feria-Velasco (1996), "Toxicology of male reproduction in animals and human", *Arch. Androl.* 37:201-218.
- De Rosa Richter, C. P., H. Pohl y D. E. Jones (1998), "Environmental exposures that affect the endocrine system: public health implications", *J. Toxicol. Environ. Health, Part B*, 1:3-26.
- Feria-Velasco, A. y R. De Celis (2005), "El desarrollo sustentable y su contribución a las condiciones de salud de la población", *Sustentabilidad*, 3: 7-18.
- Juárez-Ocaña, S., J. M. Mejía-Aranguré, M. E. Rendón-Macías, A. Kauffman-Nieves, L. T. Yamamoto-Kimura y A. Fajardo-Gutiérrez (2003), "Tendencia de seis principales causas de mortalidad en niños mexicanos durante el periodo 1971-2000. La transición epidemiológica en los niños", *Gac. Méd. Méx.* 139: 325-336.
- Steinmetz, R., P. C. M. Young, A. Caperell-Grant, E. A. Gize, B. V. Madhukar, N. Ben-Jonathan y R. M. Bigsby (1996), "Novel estrogenic action of the pesticide residue  $\beta$ -hexachlorocyclohexane in human breast cancer cells", *Cancer Research* 56:5403-5409.
- Sultan, C., P. Balaguer, B. Terouanne, V. Georget, F. Paris, C. Jeandel, Lumbroso, J. C. Nicolas (2001), "Environmental xenoestrogens, antiandrogens and disorders of male sexual differentiation", *Mol. Cell. Endocrinol.*, 178:99-105.

**Alfredo Feria Velasco** es investigador titular del Departamento de Biología Celular y Molecular del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, y está a cargo del Laboratorio de Neurobiología Celular del mismo departamento. Es médico cirujano por la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), maestro en neuroquímica por la Facultad de Química de la UNAM y doctor en neurociencias por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. Hizo un posdoctorado en neuropatología experimental en la Escuela de Medicina de la Universidad de Harvard, Boston. Sus áreas de interés son la neuropatología experimental, principalmente en el campo de la neuropatología toxico-

lógica, así como las bases morfológicas de condiciones de hiperexcitabilidad cerebral. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

fva35671@cucba.udg.mx

**Ruth de Celis Carrillo** es investigadora asociada y jefa del Laboratorio de Oncología Ambiental de la División de Inmunología, en el Centro de Investigación Biomédica de Occidente del Instituto Mexicano del Seguro Social. Obtuvo su maestría en biología de la reproducción en la UNAM y el doctorado en ciencias biomédicas en la Universidad de Guadalajara. Su principal línea de investigación es la asociación de las condiciones de contaminación ambiental con la patología y factores de riesgo de presentación de tumores, principalmente malignos, en la población humana. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores.

ruthdecelis@hotmail.com