

El exposoma: del concepto a la utilidad para un futuro sostenible

Paola Arjona-Jaime
Alejandra Romero-Montero
Elizabeth Isaacs-Páez

Según datos del Banco Mundial, desde 1960 la esperanza de vida humana ha aumentado 20 años, pero no así la calidad de nuestros ecosistemas. No es inapropiado preguntarse si llegaremos a los 70 años con nuestras facultades mentales y físicas intactas o si somos una generación resiliente.

A medida que las personas envejecemos también lo hacen nuestras células, que a lo largo del tiempo acumulan daño. La acumulación del daño permite establecer la llamada edad biológica; es decir, qué tan bien funciona un organismo a nivel molecular. Por ello, actualmente se ha desarrollado un nuevo campo de estudio, la gerociencia. Esta área pretende reducir la brecha existente entre los estudios del envejecimiento y las enfermedades crónicas, con la esperanza de comprender su relación y señalar el camino hacia nuevos tratamientos y prevención de enfermedades.

El aumento en el número de personas de 65 años o más, según datos de la ONU, y las predicciones de que para el año 2050 la población mundial de personas mayores de 60 años se duplicará, plantea retos que socialmente no estamos preparados para afrontar.

Ni nuestros sistemas sanitarios, ni la economía, ni el sistema social podrán sostener este aumento sin precedentes

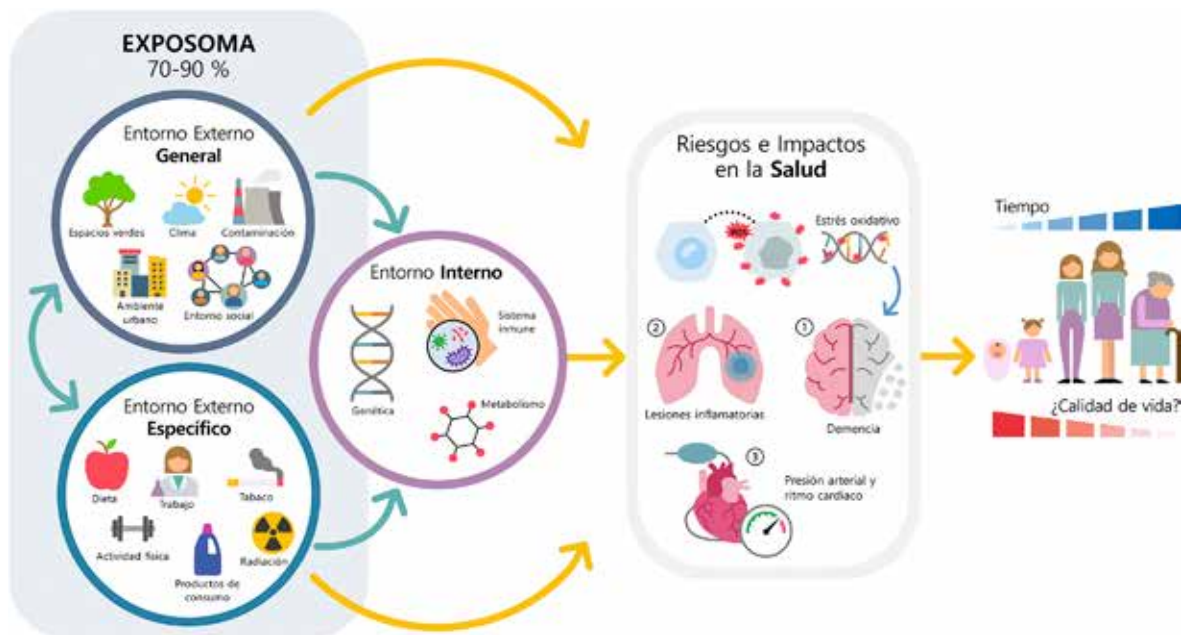


Figura 1. Visión general del exposoma y de la trayectoria de salud o enfermedad a lo largo de la vida.

de la proporción de adultos mayores en la mayoría de los países, incluido México. Las consecuencias del envejecimiento pueden resumirse en un aumento de la fragilidad y una disminución de la resiliencia, lo que conduce, por un lado, a una mayor susceptibilidad a la enfermedad y, por otro, a una menor capacidad para soportar el estrés concomitante causado por la enfermedad.

Sin embargo, en la medida que envejecemos no solamente estamos teniendo una vida que es más larga, sino que también aumenta el número de enfermedades asociadas al envejecimiento, como el Alzheimer, que actualmente no tiene una cura. En consecuencia, estamos frente a un nuevo desafío médico, científico, social, económico y político del siglo XXI.

EXPOSOMA: MEDIO AMBIENTE Y ENVEJECIMIENTO

Existen personas que llegan en buenas condiciones físicas y mentales hasta los 100 años, y otras que alcanzan la edad adulta con una cascada de enfermedades crónicas que los lleva a tener un mal envejecimiento.

La forma en que envejecemos los seres humanos está determinada en parte por la genética, y en parte por las variables ambientales. En concreto, los factores ambientales de riesgo contribuyen al riesgo de enfermedad en un 70-90%; por lo tanto, hace más de una década se acuñó el término “exposoma” para hacer referencia a todos los factores ambientales a los que el ser humano está expuesto a lo largo de su vida.

Las exposiciones a las que se someten los individuos pueden ser subagrupadas en tres entornos: externo general, externo específico, e interno del individuo (Figura 1).

Como mencionó F. Collins, exdirector de los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos: “Los genes cargan el arma y el ambiente aprieta el gatillo”.

Es especialmente relevante comprender cómo se agrupan las exposiciones múltiples en función de su influencia en vías biológicas comunes (por ejemplo, la inflamación) o por su fuente de exposición (por ejemplo, la dieta).

También puede ayudar la identificación de biomarcadores para predecir exposiciones actuales y pasadas y, por ende, detectar condiciones preclínicas tempranas e iniciar estrategias preventivas.

EXPOSOMA: MEDIO AMBIENTE Y ENVEJECIMIENTO

El agotamiento de los recursos naturales y el envejecimiento de la población son los dos retos más importantes para la sostenibilidad medioambiental de los años futuros.

En 2018, la Organización Mundial de la Salud (OMS) reconoció que la contaminación atmosférica es el segundo factor de riesgo de enfermedades no transmisibles, ya que más del 90 % de la población mundial respira un aire cuya calidad no se ajusta a las definiciones de la OMS de “aire limpio”. La contaminación del aire en las zonas urbanas incluye, principalmente, pequeñas partículas llamadas $PM_{2.5}$ y PM_{10} , productos químicos como los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los gases de efecto invernadero (GEI).

Estos factores de estrés ambiental externos generan radicales libres que, con el paso del tiempo, pueden sobrepasar las defensas endógenas naturales, acumularse, provocar daños oxidativos y acelerar el reloj biológico del individuo. En estudios de autopsias humanas se han encontrado pruebas de un aumento de los niveles de mediadores inflamatorios, presencia de marcadores de daño oxidativo del ADN, y pruebas de alteración de la barrera hematoencefálica en los cerebros de los habitantes de una ciudad con altos niveles de contaminación atmosférica, siendo los adultos mayores los más vulnerables a largo plazo, al presentar déficits cognitivos (Calderón Garcidueñas *et al.*, 2002).

Las $PM_{2.5-10}$ permanecen en el ambiente por largos periodos debido a su tamaño, densidad, condiciones térmicas; gracias a la velocidad del viento se esparcen hasta las zonas conurbanas.

Esas partículas suspendidas son una mezcla compleja formada por componentes químicos (principalmente moléculas carbónicas como el dióxido de carbono- CO_2 , contaminantes orgánicos persistentes, compuestos volátiles e hidrocarburos aromáticos policíclicos) y biológicos (polen, esporas y microorganismos) que tienen un papel esencial en el desarrollo de la inflamación, debido a que promueven la expresión de citoquinas y genes causantes de lesiones proinflamatorias.

Además, promueven la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS), mismas que modifican el ADN y su sistema de reparación, causando carcinogénesis y muerte celular.

La alta presencia de ROS y de productos de oxidación lipídica causa estrés oxidativo, que se presenta cuando la producción de oxidantes sobrepasa la capacidad antioxidante de las células y tejidos. Incluso, Chuang *et al.* (2007) reportaron que es necesario un solo día de exposición al aire contaminado para detectar un incremento en los biomarcadores inflamatorios, y que el mecanismo biológico se basa en que los componentes gaseosos y las $PM_{2.5-10}$ del aire contaminado ingresan en los pulmones, se adhieren a los receptores pulmonares y producen inflamación local que finalmente produce daño tisular.

En conjunto, los efectos inflamatorios, sumados a los aspectos mutagénicos y carcinógenos, son un factor de riesgo en el desarrollo de enfermedades no transmisibles como enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, obstrucción crónica pulmonar, cáncer de pulmón y envejecimiento prematuro.

La contaminación debida a los GEI como el CO_2 es particularmente preocupante, pues además de causar directamente los daños a la salud ya mencionados, son los principales promotores del calentamiento global que, a su vez, tiene efecto sobre el ciclo de vida de las plantas y está relacionado con el aumento en la frecuencia de fenómenos naturales destructivos (tormentas, sequías, etc.). Estas condiciones provocan que haya más polen disponible en el ambiente, menor cantidad de cultivos de plantas y mayor proliferación de microorganismos patógenos.

ENTORNO IDEAL PARA UN ENVEJECIMIENTO ÓPTIMO

El envejecimiento óptimo contempla que los factores externos le proporcionen al ser humano todo lo necesario para aumentar salud a los años de vida. No obstante, en América Latina existen más de 80 millones de personas expuestas a la contaminación ambiental.

En el 2020, la Comisión Lancet sobre la prevención, intervención y atención de la demencia, calculó que hasta el 40 % de los casos de demencia en todo el mundo podría prevenirse o retrasarse si se abordara este factor de riesgo.

Por ello, desde hace 30 años, a través de diversos foros, cumbres y asambleas internacionales, se ha buscado implementar programas y estrategias para reducir las concentraciones globales de GEI, en especial de CO₂.

En 2021, la concentración global de CO₂ fue de 415.7 partes por millón (WMO, 2022), con un aumento en las emisiones derivadas de la quema de combustibles fósiles de más del 6 % respecto a 2020, lo que representa 36.3 gigatoneladas de CO₂ por año (Friedlingstein *et al.*, 2022).

De acuerdo con los escenarios de emisiones de GEI publicados por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), las emisiones proyectadas de CO₂ podrían aumentar entre 22.5 y 83.7 GtCO₂/año en 2050, lo que resultaría en un probable calentamiento global de 1.5 °C entre 2030 y 2052, y nuevos cambios climáticos en el ecosistema (IPCC, 2018).

En este contexto, los sistemas de captura, almacenamiento y utilización de CO₂ surgen como estrategias centrales para disminuir las emisiones en el ambiente a corto y mediano plazo. Estos sistemas incorporan tecnologías para la captura de CO₂ de fuentes puntuales de emisión (o directamente de la atmósfera) para su compresión, transporte y almacenamiento para ser reutilizado como materia prima en sistemas productivos. Por ejemplo, su uso en centrales eléctricas convencionales podría reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera en una proporción del 80 al 90 % (IPCC, 2005).

Actualmente se utilizan alrededor de 230 megatoneladas de CO₂ cada año en la industria de fertilizantes (56 %), en la recuperación mejorada de petróleo (34 %), en la producción de alimentos y bebidas, y en aumentar el rendimiento en invernaderos (10 %) (IEA, 2022). Aunque la captura y utilización de CO₂ no reduce las emisiones, su implementación podría

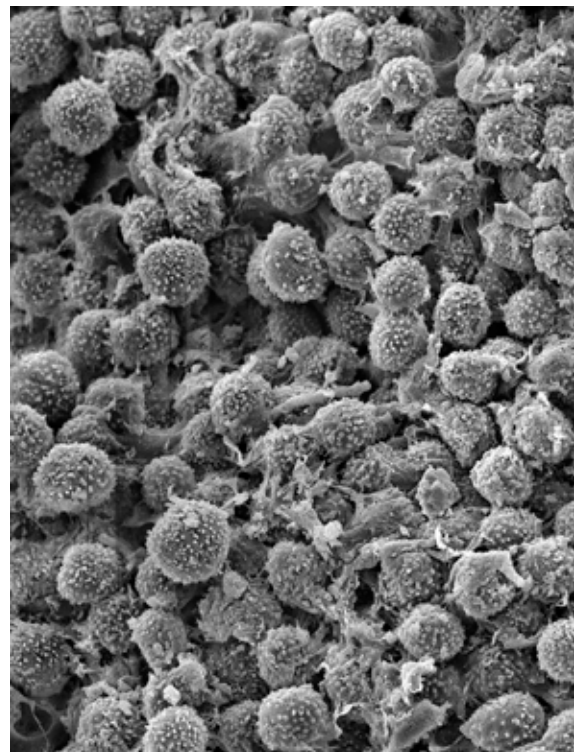
contribuir al cumplimiento de los objetivos climáticos y energéticos globales, además de ampliar la base de materias primas que pueden generar ingresos económicos adicionales. De esta manera, cualquier intento de reducción de emisiones de GEI y de CO₂ podría abordar el cambio climático global y frenar sus efectos sobre la salud humana.

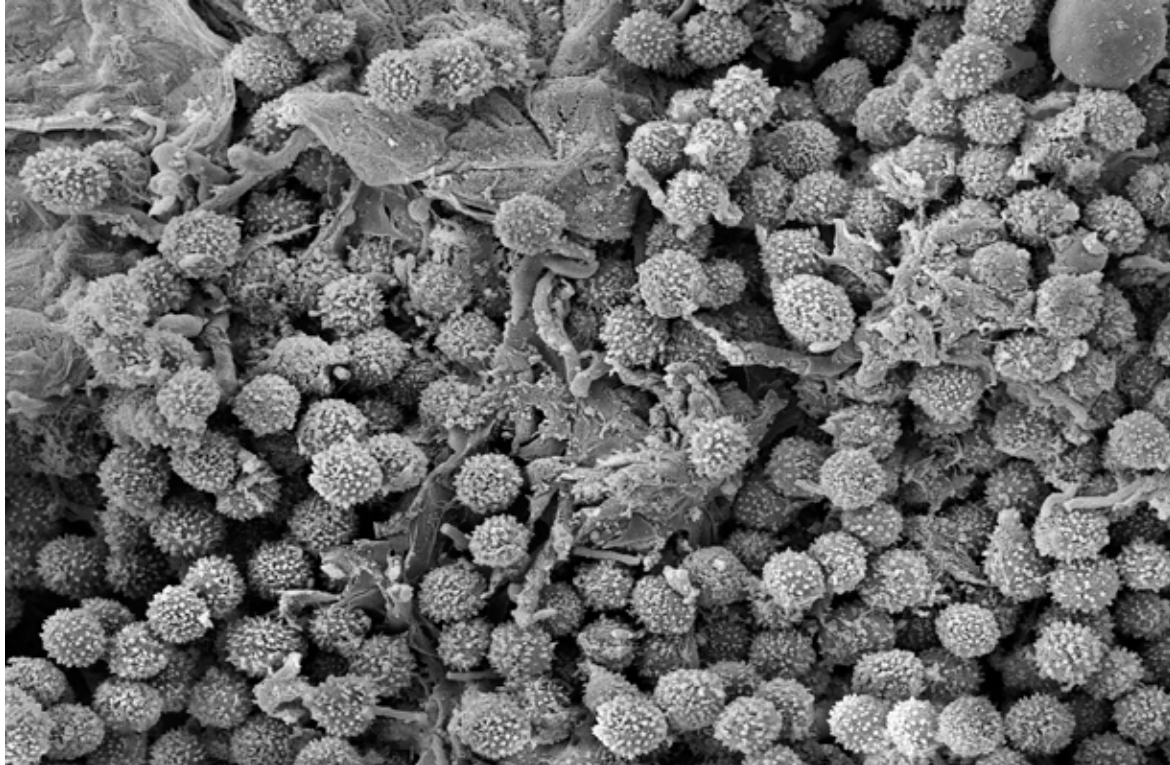
CONCLUSIÓN

Los retos actuales para frenar el daño ambiental y mejorar la calidad de vida de las personas se hallan directamente ligados; por ello, para entender que los factores externos afectan directamente la salud de las personas, se ha propiciado la identificación y clasificación de daños causados a través del exposoma.

En un esfuerzo por controlar las afectaciones que podría causar en las sociedades actuales, se han buscado alternativas que puedan mejorar la calidad del aire, lo que tendría un efecto directo en la reducción de componentes dañinos a los que

© Luz Noyola-Méndez. Microscopía electrónica de barrido del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*).





© Luz Noyola-Méndez. Microscopía electrónica de barrido del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*).

estamos expuestos, ayudaría en el combate contra el calentamiento global, y brindaría un beneficio económico mediante la reutilización del CO₂ como materia prima de productos de valor agregado.

Controlar el exposoma podría ser la clave para reducir el riesgo de contraer enfermedades no contagiosas a las que posiblemente estemos genéticamente predisuestos.

AGRADECIMIENTO

A. Romero-Montero y E. Isaacs Páez agradecen a Dra. Sandra Esquivel Niño del Centro de Gerencia Salud Mental y Metabolismo (Chile) por la motivación que nos brindó para abordar esta temática desde la transversalidad e interdisciplina.

REFERENCIAS

- Calderón-Garcidueñas L, Azzarelli B, Acuna H *et al.* (2002). Air pollution and brain damage. *Toxicol Pathol* 30(3):373-89.
- Chuang KJ, Chan CC, Su TC *et al.* (2007). The effect of urban air pollution on inflammation, oxidative stress, coagulation, and autonomic dysfunction in young adults. *Am J Respir Crit Care Med* 176(4):370-376.
- Friedlingstein P *et al.* (2022). Global Carbon Budget 2022, pp. 4811-4900.

IEA-International Energy Agency (2019). Putting CO₂ to Use: Creating Value from Emissions, pp. 1-85.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change (2005) IPCC Special Report on Carbon dioxide capture and storage.

IPCC (2018) Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Livingston G, Huntley J, Sommerlad A *et al.* (2020). Dementia prevention, intervention, and care: 2020 report of the Lancet Commission. *Lancet*. 396(10248):413-446.

Organización Mundial de la Salud. (2015). Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/186466>.

WMO-World Meteorological Organization (2022). WMO Greenhouse Gas Bulletin, The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2021, 18, pp. 1-10.

Paola Arjona-Jaime
Elizabeth Isaacs Páez
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A. C.
San Luis Potosí, México
elizabeth.isaacs@ipicyt.edu.mx

Alejandra Romero-Montero
Facultad de Química
Universidad Nacional Autónoma de México

© Luz Noyola-Méndez. Microscopía electrónica de barrido del huitlacoche (*Mycosarcoma maydis*).

