



Salud Pública de México

ISSN: 0036-3634

spm@insp.mx

Instituto Nacional de Salud Pública  
México

Noticias de salud ambiental ehp-spm  
Salud Pública de México, vol. 54, núm. 3, mayo-junio, 2012, pp. 332-355  
Instituto Nacional de Salud Pública  
Cuernavaca, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=10623059016>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Foto: © 2012 Joseph Tart/EHP; Map Resources; Ray et al.<sup>26</sup> Esta gráfica es exclusivamente para fines de ilustración y no representa un MCR real.

**Los modelos climáticos regionales de escala reducida (MCR) proporcionan material útil para la planeación adaptativa para el cambio climático a nivel local y regional.**

# REDUCCIÓN DE ESCALA DE LOS MODELOS CLIMÁTICOS

## Un enfoque más nítido de los cambios a nivel local\*

**L**a mayoría de las proyecciones del cambio climático se desarrollan utilizando modelos a escala global que generan aquellos cambios de temperatura promedio que se espera podrán ocurrir en las siguientes décadas y en un futuro lejano. Estos modelos globales no pueden representar los componentes granulares de la atmósfera, tales como la cubierta de nubes, las partículas transportadas por el aire y las fuentes de contaminación local. No obstante, estos pequeños detalles pueden ejercer un gran impacto en el clima local, motivo por el que se espera que los efectos del cambio climático varíen dependiendo de la situación geográfica.<sup>1,2</sup>

La “reducción de escala” de los modelos climáticos es un intento de salvar la brecha entre los efectos globales y locales sobreponiendo datos locales a modelos climáticos en gran escala. El modelado a escala reducida examina en detalle áreas relativamente pequeñas, las cuales en algunos casos miden tan sólo 25 kilómetros cuadrados,<sup>3</sup> con una resolución mucho más alta que la que ofrecen las simulaciones de los modelos climáticos globales. El objetivo es generar proyecciones de los patrones climáticos a largo plazo para regiones, estados y ciudades, que sean relevantes a un nivel más local.

\* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 120, número 1, enero 2012, páginas A22-A28.



En el año 2000, en uno de los primeros proyectos que aplicaron la reducción de escala para simular efectos locales, un pequeño grupo de investigadores diseñó y probó un sistema para calcular los impactos del cambio climático sobre la salud de los individuos de un lugar específico: la ciudad de Nueva York. Su análisis, desarrollado como parte del Proyecto sobre Clima y Salud de Nueva York (NYCHP en inglés),<sup>4</sup> incorporó datos locales sobre el calor y la calidad del aire, así como datos sobre el uso del suelo, relativos, por ejemplo, a las nuevas calles y urbanizaciones, dado que éstas también ejercen un impacto sobre la temperatura de la superficie y la calidad del aire. Al utilizar estos datos, el equipo proyectó que las temperaturas más altas de lo normal y los incrementos resultantes de la producción de ozono troposférico como consecuencia del cambio climático podrían incrementar en 4.5% las muertes asociadas con el ozono

en toda el área metropolitana para la década de los 2050.<sup>5</sup> También estimó que la mortalidad asociada con el calor del verano en el área podría incrementarse en promedio en 70% en el mismo período.<sup>6</sup>

“El trabajo de reducción de escala ofrece un panorama del impacto que el cambio climático podría tener sobre la salud en el futuro; comienza por describir la gama de posibles respuestas a algunas de las preguntas que nos hacemos hoy en día en materia de salud pública y nos da una idea de las distintas alternativas posibles para el futuro”, señala Kim Knowlton, científica principal del Consejo para la Defensa de los Recursos Naturales, quien trabajó en el proyecto NYCHP. “En este momento los resultados del modelado a escala reducida son invaluable para la planeación adaptativa, y la pericia de la comunidad modeladora es cada vez mayor”.

Thorsten Wagener, profesor adjunto de la Universidad Estatal de Pen-

silvania especializado en hidrología, señala que no hay en Estados Unidos una sola universidad importante en el ámbito de la investigación donde no se esté trabajando en el modelado climático regional a escala reducida (MCR), porque el impacto del cambio climático para los planeadores y gestores es una cuestión de importancia crucial en este momento. Wagner añade: “Una vez que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (en inglés, IPCC)<sup>7</sup> utilizó modelos para proyectar el cambio climático futuro, los científicos pasaron rápidamente a preguntarse: ‘¿Qué implica realmente el calentamiento global para la gente de la calle, para el suministro de energía eléctrica, para nuestra economía, para nuestra salud, para todo tipo de cosas?’” En algunos casos los funcionarios de salud pública y los gestores de los recursos ya han comenzado a utilizar estos datos a escala reducida para desarrollar planes de adaptación al cambio climático.<sup>8</sup>

**L**os resultados del primer MCG del mundo de la interacción entre el océano y la atmósfera fueron publicados en 1969 por Syukuro Manabe (fotografía a la izquierda) y Kirk Bryan, dos científicos del Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos de la Universidad Princeton.<sup>27</sup> Ambos utilizaron una serie de modelos matemáticos para predecir los patrones climáticos para varios días. Sus “MCG acoplados” (“acoplados” porque el modelo conectaba modelos del océano y modelos atmosféricos de modo que pudieran interactuar como lo hacen estos sistemas en la naturaleza) prepararon el terreno para una forma totalmente nueva de realizar investigaciones y abrieron la puerta a comprender el complejísimo mundo de los procesos climáticos naturales.



Foto: © 2012 Jim Sugar/Corbis

## Modelos climáticos globales: apertura de la caja negra

El clima es por naturaleza un fenómeno caótico y extraordinariamente complejo con fluctuaciones que resultan de manera natural de las interacciones entre el océano, la atmósfera, la tierra, la criósfera (la parte congelada de la superficie de la tierra) y los cambios en el equilibrio energético de la tierra que resultan de las erupciones volcánicas, de las variaciones en la intensidad solar<sup>9</sup> y de las alteraciones de la composición atmosférica que modifican el equilibrio entre la energía solar de entrada y la de salida. Los modelos climáticos globales originales, conocidos como modelos de circulación general (MCG), simulaban las interacciones entre los océanos y la atmósfera.

Desde la década de los 1990 los científicos del clima han dado grandes saltos en su comprensión y en su capacidad de describir procesos ambientales que no habían sido descritos antes, tales como la manera en que la luz del sol afecta al hielo que flota en el Ártico o la forma en la que los océanos pueden absorber dióxido de carbono. Los modelos climáticos más recientes incorporan ecuaciones que calculan los efectos de estos procesos ambientales en la temperatura.

Para decirlo en una forma sencilla, un modelo climático global es una cuadrícula tridimensional hecha de cajas que representan bloques de la tierra de 150 a 200 kilómetros cuadrados. Estas cajas están apiladas vertical y horizontalmente y cubren todo el planeta. Cada caja describe el movimiento del viento, la precipitación pluvial, la temperatura y otras características para ese bloque específico. Los modeladores aplican entonces principios bien establecidos de la física para calcular, por ejemplo, cómo se mueven los vientos y las lluvias a través de cada caja y cómo alteran a los vientos y las lluvias en las cajas aledañas. El modelo analiza

y combina los datos calculados para cada caja a fin de generar una imagen más amplia de cómo podría cambiar el clima de la tierra.<sup>10</sup>

Todos los modelos climáticos globales son en esencia MCG porque simulan los cambios en los vientos, temperaturas y presiones atmosféricas simultáneamente en todo el planeta. Además, muchos climatólogos estudian modelos mucho más sencillos de complejidad intermedia que ilustran procesos ambientales fundamentales, tales como la dinámica atmosférica. Muchos investigadores del clima utilizan modelos de complejidad intermedia para probar la precisión de modelos más grandes y más detallados que calculan los cambios climáticos hasta un futuro lejano, dice David Pierce, programador y analista de la división de ciencias climáticas y atmosféricas y oceanografía física del Instituto Scripps de Oceanografía.

Entre 15 y 20 instituciones en todo el mundo<sup>11</sup> mantienen modelos MCG grandes, muchos de ellos patrocinados por los gobiernos o por universidades, dice Gregory M. Flato, jefe del Centro de Modelado y Análisis Climático de la Oficina del Medio Ambiente de Canadá. Básicamente, cada modelo está tratando de simular lo mismo, si bien los modelos difieren en sus especificaciones y formatos particulares. Los investigadores de cada grupo de modelado aplican su propio juicio científico al abordar los múltiples procesos físicos relevantes al clima, añade Flato.

En muchos sentidos, el modelado climático global es por igual un arte y una ciencia, añade Spencer Weart, director emérito del Centro de Historia de la Física del Instituto Americano de Física. “Los modelos climáticos globales son tan diferentes entre sí como lo es una persona de otra”, señala Weart.

“Si pudiéramos representar a la perfección cada proceso relevante, no habría necesidad de aproximaciones

ni de estimar procesos más pequeños en una escala mayor,” explica Claudia Tebaldi, científica investigadora de Climate Central<sup>12</sup> y profesora adjunta de la Universidad de Columbia Británica. “De hecho nos da gusto que haya más centros de modelado que hagan estas cosas de manera aislada porque todas las respuestas son legítimas. Vemos las múltiples respuestas [de los diversos centros de modelado], y la fiabilidad de las proyecciones se incrementa cuando percibimos que los modelos están dando la misma respuesta general”. Al mismo tiempo, si los modelos proporcionan respuestas diferentes en un área particular, “esto nos dice que nuestra comprensión tiene que mejorar”, añade.

Ver a la tierra simulada por un modelo climático global es parecido a ver una fotografía borrosa debido a su resolución gruesa. Por ejemplo, uno podría reconocer la forma general de la Costa Oeste de Estados Unidos, pero faltan algunos detalles geográficos como las ensenadas y bahías a lo largo de la costa noroeste del Pacífico. Las técnicas de reducción de escala incorporan estos detalles geográficos específicos en un modelo. La inclusión de la forma de los cuerpos de agua locales o de las elevaciones más o menos altas de una cordillera crea un modelo capaz de simular la velocidad del viento, los flujos ascendentes y descendentes, la evaporación y otros procesos relacionados con el clima que afectan al medio ambiente local, dice Tebaldi.

## ¿Qué nos muestra la reducción de escala?

Los modeladores regionales utilizan diferentes enfoques de la reducción de escala. Un enfoque es la reducción de escala dinámica, que alimenta datos de los modelos climáticos globales a los modelos meteorológicos regionales para simular las condiciones climáticas locales. “En la reducción de escala dinámica, uno básicamente

Foto: © 2012 Aaron Huey/National Geographic Stock



**Incendio estacional. Bosque Nacional Ángeles. California 2009**

Los centros de modelado logran sus resultados y aportan muchos de éstos al Programa Mundial de Investigación sobre el Clima,<sup>28</sup> una red que comprende socios como el Programa Internacional de la Geósfera y la Biósfera y el Programa Internacional de Dimensiones Humanas sobre el Cambio Ambiental Global. Los resultados del modelo están libremente disponibles en línea para ser analizados. Los mismos centros están trabajando en MCR y la mayoría de ellos comparten estos datos con investigadores de todo el mundo.

Algunos estados ya han puesto datos relevantes de los MCR a disposición del público. California, por ejemplo, dio a conocer recientemente la página web Cal-Adapt, producida por la comunidad de científicos e investigadores del estado, en la que se describen los cambios potenciales en la actividad de incendios forestales, la elevación del nivel del mar, el manto de nieve y la temperatura, todos ellos reducidos a la escala de la geografía del estado.<sup>29</sup> Todos los usuarios de Cal-Adapt tienen acceso a mapas interactivos, algunos de ellos con enlaces a datos censales tomados de folletos, y a datos de las fuentes originales.

está anidando un modelo regional de resolución más alta dentro de un modelo climático global”, dice Bill Kuo, científico principal del Centro Nacional de Investigación Atmosférica (NCAR). El modelo global puede proporcionar los cambios en gran escala y el modelo regional muestra con mucho mayor detalle las variaciones climáticas regionales (esto es,

las variaciones de la temperatura y la precipitación) porque la topografía local aparece mucho mejor resuelta en el modelo regional.

Sin embargo, la técnica dinámica conlleva un nivel de detalle que fuerza las capacidades informáticas, por lo que sólo permite procesar datos de modelos climáticos individuales y de “rebanadas de tiempo”

breves (típicamente 3–5 años, dice Knowlton).<sup>13</sup> Esto hace prácticamente imposible llevar a cabo simulaciones de las condiciones locales extendidas a varios siglos como se hace con los modelos climáticos globales de resolución gruesa.<sup>14</sup>

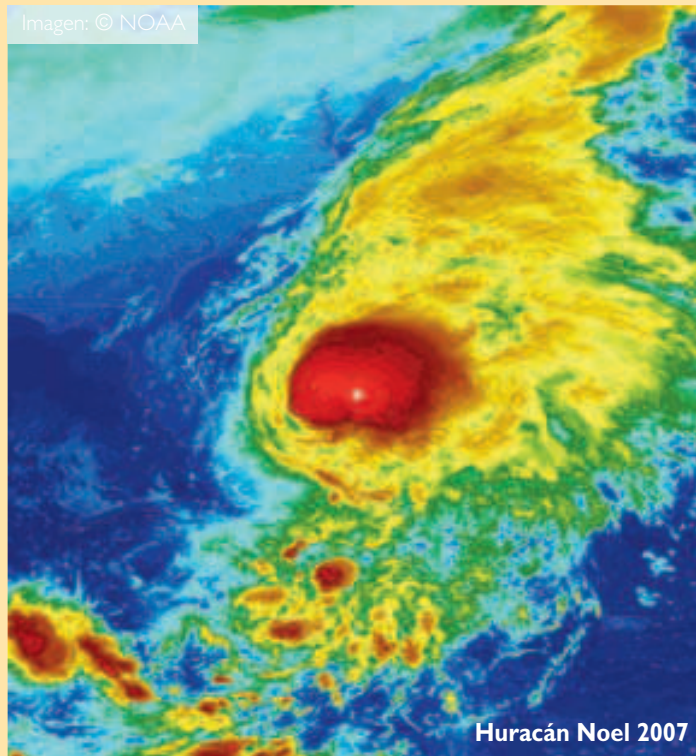
Un segundo enfoque es la reducción de escala estadística, que utiliza una serie de ecuaciones para convertir



Se están utilizando MCR para simular eventos climáticos extremos como lluvias intensas, sequías y huracanes que ocurren a nivel local o regional y que por lo tanto son difíciles de recrear mediante modelos climáticos globales.<sup>30</sup> La reducción a escala regional puede ser utilizada para simular eventos climáticos extremos a una escala menor porque los investigadores introducen procesos ambientales (por ejemplo, el flujo del viento y las precipitaciones pluviales) que son específicos de esa área en particular. Por otra parte, los modelos climáticos globales son capaces de simular eventos climáticos extremos, pero debido a que sus simulaciones son globales, la resolución es gruesa, y con frecuencia el evento extremo aparece como menos intenso que los que ocurren en tiempo real, dice David Pierce, del Instituto Scripps de Oceanografía.

En otros avances, los investigadores y los modeladores climáticos están comenzando a abordar cambios en la escala temporal de unos cuantos años a un par de decenios, dice Claudia Tebaldi, de la Universidad de Columbia Británica. Si este tipo de esfuerzos rinde frutos, proporcionarán información importante para las decisiones adaptativas locales. La Quinta Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, que está por realizarse, incluirá una evaluación de estos nuevos tipos de simulaciones del cambio climático.

Imagen: © NOAA



Huracán Noel 2007

los datos de salida del modelo de escala global a las condiciones de escala regional. El concepto subyacente es que el clima local está condicionado por el clima a gran escala y por las características fisiográficas locales tales como la topografía y la vegetación. La reducción de escala estadística requiere de la identificación de vínculos empíricos entre los patrones de los elementos climáticos a gran escala y el clima local. Una vez que se generan esos vínculos, puede utilizarse la reducción de escala

estadística para inferir los cambios climáticos locales utilizando los datos de salida de los modelos globales o regionales, dice Kuo. Con este enfoque los investigadores pueden reducir la escala de los escenarios de emisiones para muchos modelos y muchas décadas, o incluso siglos, porque el enfoque estadístico requiere de menos esfuerzo de procesamiento que la reducción de escala dinámica.<sup>15</sup>

Una forma en que los científicos del clima están respondiendo la

pregunta ubicua “¿cómo me afecta a mí el clima?” consiste en enfocar los MCR individuales en cuestiones particulares relacionadas con la salud, tales como las ondas de calor o las sequías. Por ejemplo, Noah S. Diffenbaugh, profesor adjunto de ciencias del sistema ambiental de la tierra en la Universidad Stanford, y sus colegas informaron recientemente que es probable que en algunas áreas del oeste y el centro de los Estados Unidos, entre los años 2020 y 2029,

se presenten hasta en cinco ocasiones intensas ondas de calor iguales a la más larga registrada desde 1951 hasta 1999.<sup>3</sup> Este estudio analizó cuadrantes geográficos de 25 kilómetros cuadrados y tuvo la particularidad de que sus autores efectuaron simulaciones de 25 kilómetros a lo largo de múltiples décadas en múltiples ocasiones a fin de capturar la variabilidad interna del sistema climático. “Nadie más ha completado este tipo de análisis climático con una resolución tan alta”, señala Diffenbaugh.

Otra primicia son los modelos climáticos que están siendo desarrollados por los investigadores de NCAR y la Universidad de Kansas y que incorporan el efecto de calor de la isla urbana (es decir, que las ciudades son más calurosas que las zonas rurales que las rodean debido a factores tales como el mayor grado de contaminación ambiental y los efectos del concreto sobre la retención del calor). La mayoría de los modelos climáticos globales no toman en cuenta las superficies urbanas<sup>16</sup> pese a que más de 50% de la población mundial vive en una ciudad o en un área metropolitana.<sup>17</sup> No obstante, hay diferencias considerables en cuanto a equilibrio energético, temperatura, humedad y escurrimientos pluviales entre las áreas urbanas y las superficies rurales.<sup>18</sup>

Los científicos de la salud pública continúan analizando los datos de escala reducida del proyecto NYCHP.<sup>19</sup> Recientemente, Knowlton y sus colegas, incluyendo el director del estudio Perry Sheffield, profesor adjunto de medicina preventiva de la Escuela de Medicina Monte Sinaí, estimaron las visitas futuras al departamento de emergencias pediátricas por asma asociadas con las variaciones de los niveles de ozono troposférico en el área metropolitana de Nueva York, comparando las visitas que se realizaron en la década de los 1990 con las visitas proyectadas para los años 2020. Calcularon que para la década de los 2020 el cambio climático podría

causar un incremento de 7.3% de las visitas regionales al departamento de emergencias por asma relacionadas con el ozono durante el verano. Cuando se tomó en cuenta el crecimiento de la población, las proyecciones de la morbilidad relacionadas con el ozono fueron aun mayores.<sup>20</sup>

En otro trabajo se están utilizando los MCR para simular la propagación de enfermedades infecciosas. Los investigadores de la Universidad Estatal de Pensilvania, Matthew Thomas y Michael Mann, están colaborando en un modelo que utiliza condiciones locales diarias de temperatura y precipitación a fin de comprender mejor cómo influyen estas condiciones en la propagación de la malaria y el dengue, las dos enfermedades transmitidas por vectores más importantes a nivel mundial. Hasta hace poco, los investigadores se han basado en los promedios de las temperaturas estacionales que se presentan año con año, señala Mann. Sin embargo, para la malaria, añade, es importante entender de qué manera cambia la temperatura de una hora a otra a lo largo del día, porque el periodo de incubación del parásito que provoca la enfermedad es sumamente sensible a la temperatura.

La reducción de escala de los modelos climáticos no se limita a los países ricos. Los científicos de los países en vías de desarrollo también están comenzando a simular impactos locales del cambio climático utilizando la reducción de escala estadística. La Red Regional de Investigación sobre el Clima<sup>21</sup> tiene un MCR originalmente desarrollado por NCAR que opera en diversas plataformas de computadora y alienta la colaboración entre los científicos del “Sur-Sur” y el “Norte-Norte”.<sup>22</sup> “Me parece que la mayoría de los países que realmente están en desarrollo no están haciendo su propio modelo climático”, dice Kuo. “Por el contrario, la mayoría de los países en desarrollo se están basando en

las proyecciones realizadas por los países industrializados, y a partir de ellas están haciendo su propia interpretación estadística”.

Mucho de lo que puede hacerse con los modelos climáticos globales depende de las capacidades informáticas, y esas capacidades continúan creciendo, según afirman los modeladores. Con el uso de computadoras más poderosas, los modelos globales avanzarán hacia una mayor resolución y terminarán por producir simulaciones locales similares a las que actualmente producen los MCR, dice Johannes Feddema, profesor del Departamento de Geografía de la Universidad de Kansas. “Creo que en los próximos 30 años habrá una unificación de los modelos climáticos globales y el modelado en alta resolución”, dice Feddema. “Los modelos globales se ejecutarán [a escalas de] un kilómetro en veinte a treinta años, que es la misma resolución que tienen actualmente los modelos en alta resolución”. Sin embargo, los modelos globales tienen mucho camino que recorrer antes de que logren simular las condiciones regionales con la misma claridad que los MCR.

### Puntualización de la incertidumbre

Los gestores del agua, en particular en el oeste de Estados Unidos, han ido a la vanguardia en el empleo de MCR para predecir las necesidades futuras de agua en la región. Sin embargo, muchos modeladores también entienden que los datos regionales sólo pueden proporcionar cierta información a los tomadores de decisiones que se enfrentan a un clima incierto. Brad Udall, director del programa de Evaluación del Agua en la Región Oeste, uno de varios programas de Evaluación Integrada Regional Científica (en inglés, RISA) financiados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica, afirma que los MCR efectuados en



Dos diferentes modelos climáticos proyectan promedios estacionales de la máxima precipitación de un día en el año 2030. Una comparación entre los datos de salida del Modelo 3 del Sistema Climático Comunitario a escala global (arriba) y los del MCRég3 a escala regional (abajo) ilustra los detalles más finos que pueden obtenerse con la reducción de escala.

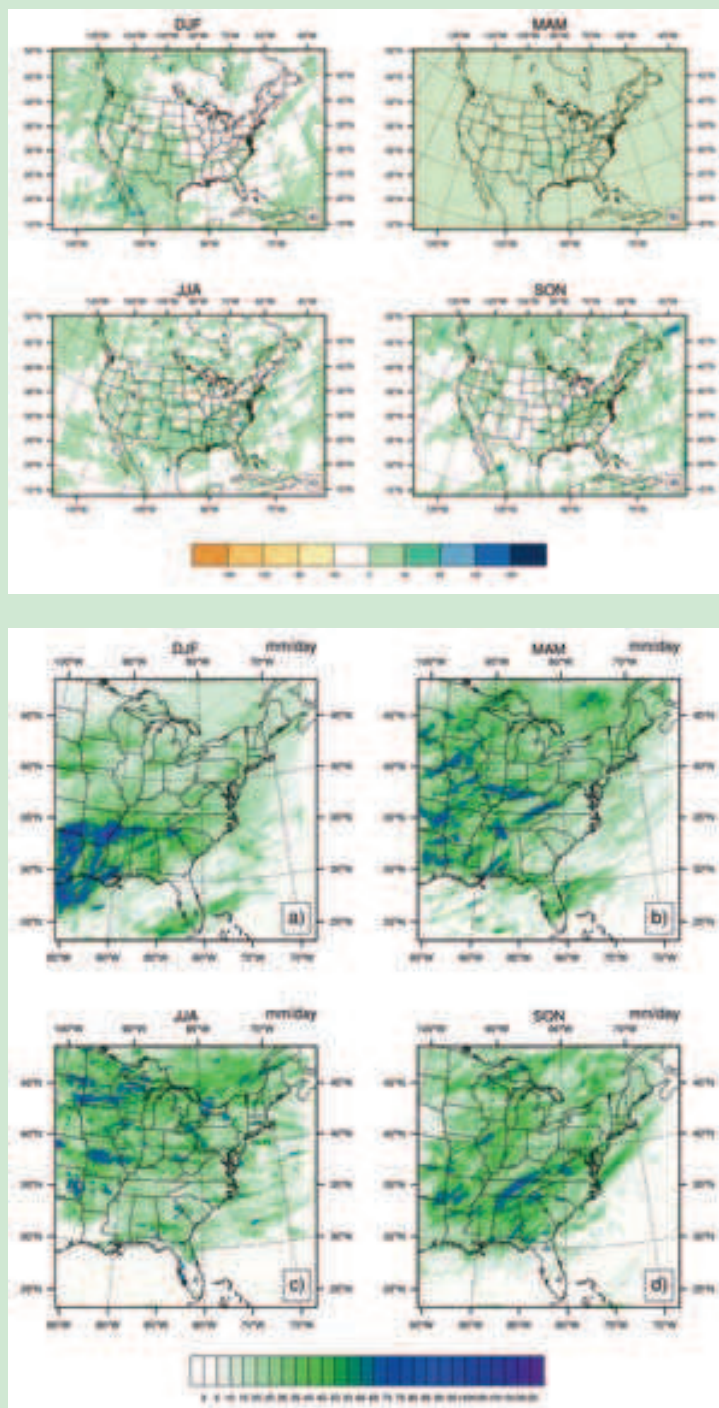


Imagen: © 2012 Noblis, Inc

la Cuenca del Río Colorado pueden realizar predicciones confiables para apenas unos ocho años en el futuro. Los gestores del agua generalmente necesitan planear a entre 50 y 100 años en el futuro cuando consideran la construcción de una nueva infraestructura, dice.

Linda Mearns, directora ejecutiva del Programa Regional de Evaluación del Cambio Climático de América del Norte, está de acuerdo en que los MCR son sólo una pieza del rompecabezas de la adaptación a un mundo que ya está enfrentando una creciente variabilidad climática. Añade que una mayor cantidad de modelos regionales no necesariamente es la herramienta más importante para adaptarse al cambio climático. La incertidumbre va a ser parte de la planeación para el cambio climático, no importa cuán pequeña sea el área que un modelador climático puede describir o cuán detallados sean los resultados de un MCR. Lo importante, dice Mearns, es reconocer esas incertidumbres y descubrir cómo tomar decisiones con base en ellas: "Hay otro componente totalmente diferente [de la planeación adaptativa] que tiene que ver con tomar decisiones para un zona de recursos particular aunque haya muchas incertidumbres".

Todos los modelos climáticos se utilizan para hacer predicciones con base en diferentes supuestos. Los investigadores introducen supuestos que desarrollan cualquier proceso ambiental que no esté totalmente explicado por la ciencia, por ejemplo, el impacto del hollín sobre los procesos climáticos. También introducen supuestos sobre el nivel futuro de las emisiones de gases invernadero. Estos supuestos se añaden a la incertidumbre inherente en los modelos climáticos, que, dice Wagener, se complica con la reducción de escala, puesto que la incertidumbre se distribuye en forma de cascada en cada etapa del modelado. "Con cada paso hay incertidumbres que se están añadiendo de manera natural porque tenemos que utilizar un conjunto de supuestos diferente para cada nuevo modelo que agregamos", explica.

Wagener y sus colegas están desarrollando un marco para cuantificar la incertidumbre en las proyecciones de disponibilidad del agua, un área de interés clave para los gestores del agua, incluyendo aquellos que trabajan en las plantas de energía eléctrica. Las plantas de carbón, de gas natural y de energía nuclear utilizan agua para enfriar las operaciones de la planta, y el cambio climático podría tener impactos considerables sobre

los recursos hidráulicos<sup>23</sup> "Además de proporcionar una estimación óptima de las condiciones futuras, podremos cuantificar nuestra confianza en esta estimación", dice Wagener.

Richard Rood, profesor del Departamento de Ciencias Atmosféricas, Oceánicas y del Espacio de la Universidad de Michigan, también está trabajando para incorporar la incertidumbre a través de la plataforma de Predicciones y Proyecciones Nacionales del Clima (NCPP en inglés), un programa en línea que ofrece a los tomadores de decisiones orientación para interpretar los datos de modelado y consejos para poner en contexto las incertidumbres a escala nacional.<sup>24</sup> "Cuando se les presenta la incertidumbre asociada con los datos a escala reducida, casi la mitad de los colaboradores que trabajan con las NCPP, incluyendo los funcionarios de salud pública, dicen: "Realmente no nos interesan los datos digitales. ¿Puede usted proporcionarnos datos descriptivos?", señala Rood.

Pero la incertidumbre no es en modo alguno un impedimento. Wagener apunta a las investigaciones que demuestran que comprender el alcance de la incertidumbre puede ayudar a los tomadores de decisiones a tomar decisiones sensatas.<sup>25</sup> "Si usted proporciona información

#### FORTALEZAS Y DEBILIDADES DE LA REDUCCIÓN DE ESCALA ESTADÍSTICA COMPARADA CON LA DINÁMICA (SEGÚN FOWLER ET AL. 2007)<sup>26</sup>

	Estadística	Dinámica
<b>Ventajas</b>	Comparativamente barata e informáticamente eficiente. Puede proporcionar variables climáticas en la escala de puntos a partir de los datos de salida de un MCG. Puede incorporar directamente las observaciones en el método.	Produce respuestas con base en procesos físicamente homogéneos. Puede resolver procesos atmosféricos a una escala menor (por ejemplo, efectos orográficos y de sombra pluvial en las zonas montañosas).
<b>Desventajas</b>	Depende de la elección de los predictores. No toma en cuenta el carácter no estacionario de la relación entre el predictor y el pronóstico. No incluye retroalimentaciones del sistema climático regional afectado por los sesgos en los MCG subyacentes.	Informáticamente intensiva. Disponibilidad de un número limitado de conjuntos de escenarios. Depende de que se fuercen los límites del MCG afectado por sesgos en el MCG subyacente. Depende de las parametrizaciones de los MCR. MCR diferentes darán resultados diferentes.

a la gente, por ejemplo, si les da el pronóstico del clima, y les dice cuál es el escenario más probable o el que usted considera como previsible, y añade el grado de confianza que tiene usted en esa predicción, o la incertidumbre que acompaña a esa predicción, les brindará más información que si usted no describiera la incertidumbre", dice. Eso conduce a mejores decisiones".

**Catherine M. Cooney**  
Escritora científica que reside  
en Washington, DC.

## Referencias y notas

1. Maibach EW, et al. Climate change and local public health in the United States: preparedness, programs and perceptions of local public health department directors. *PLoS ONE* 3(7):e2838 (2008). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0002838>.
2. Frumkin H, et al. Climate change: the public health response. *Am J Public Health* 98(3):435-445 (2008). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2105/AJPH.2007.119362>.
3. Diffenbaugh NS, Ashfaq M. Intensification of hot extremes in the United States. *Geophys Res Lett* 37:L15701 (2010). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1029/2010GL043888>.
4. El Proyecto sobre Clima y Salud de Nueva York está dirigido por Patrick L. Kinney y Cynthia Rosenzweig en la Universidad Columbia. Disponible en: <http://www.globalhealth.columbia.edu/projects/RES0716289.html> [consultado el 30 de noviembre de 2011].
5. Knowlton K, et al. Assessing ozone-related health impacts under a changing climate. *Environ Health Perspect* 112(15):1557-1563 (2004). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.7163>.
6. Knowlton K, et al. Projecting heat-related mortality impacts under a changing climate in the New York City region. *Am J Public Health* 97(11):2028-2034 (2007). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2105/AJPH.2006.102947>.
7. El IPCC, o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, es un cuerpo de científicos que se ocupa de evaluar el riesgo de cambio climático ocasionado por la actividad humana, las bases científicas del cambio climático y las opciones para mitigarlo.
8. Cooney CM. Preparing a people: climate change and public health. *Environ Health Perspect* 119(4):A166-A171 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.119-a166>.
9. NOAA. Modeling Climate [página web]. Silver Spring, MD: Oficina de Investigaciones Oceánicas y Atmosféricas, Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (actualizada el 7 de marzo de 2011). Disponible en: [http://www.oar.noaa.gov/climate/t\\_modeling.html](http://www.oar.noaa.gov/climate/t_modeling.html) [consultado el 30 de noviembre de 2011].

10. Schroepe M. Climate Change Models: Understanding The Basics [online forum entry]. New Haven, CT: Foro de Yale sobre el Cambio Climático y los Medios de Comunicación (20 de enero de 2009). [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://www.yaleclimatemediaforum.org/2009/01/climate-change-models-understanding-the-basics/>.
11. Algunos de los programas de mayor magnitud incluyen el Laboratorio Geofísico de Dinámica de Fluidos de la NOAA; el Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas del Instituto Goddard de Estudios Espaciales; el Centro Hadley del Servicio Meteorológico del Reino Unido; el Centro de Investigación sobre el Clima de Australia; el Instituto Max Planck de Meteorología; el Centro Canadiense de Modelado y Análisis del Clima; el Centro de Investigaciones sobre el Clima de la Universidad de Tokyo, Japón, y el Centro Internacional Abdus Salam de Física Teórica en Trieste, Italia.
12. Climate Central (<http://www.climatecentral.org/>) es una organización de periodismo e investigación independiente dedicada a ayudar al público general de Estados Unidos a comprender la relevancia personal del cambio climático.
13. Southwest Climate Change Network. Climate: Downscaling Techniques [página web]. Tucson, AZ: Instituto de Evaluación Ambiental y Climática de la Región Suroeste de la Universidad de Arizona (2009). [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://www.southwestclimatechange.org/climate/modeling/downscaling>.
14. Maurer EP, Hidalgo HG. Utility of daily vs. monthly large-scale climate data: an intercomparison of two statistical downscaling methods. *Hydrol Earth Sys Sci* 12(2):551-563 (2008). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.5194/hess-12-551-2008>.
15. Fowler HJ, et al. Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *Int J Climatol* 27:1547-1578 (2007). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/joc.1556>.
16. Best MJ. Progress towards better weather forecasts for city dwellers: from short range to climate change. *Theoret Appl Climatol* 84(1-3):47-55 (2006). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-005-0143-2>.
17. UNFPA. Linking Population, Poverty and Development. Urbanization: A Majority in Cities [website]. Nueva York, NY: Fondo de las Naciones Unidas para la Población (actualizado en mayo de 2007). [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://www.unfpa.org/pds/urbanization.htm>.
18. Oke TR. Boundary Layer Climates, 2ª ed. Nueva York, NY: Routledge (1987).
19. Bell ML, et al. Climate change, ambient ozone, and health in 50 US cities. *Clim Change* 82(1-2):61-76 (2007). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-006-9166-7>.
20. Sheffield PE, et al. Modeling of regional climate change effects on ground-level ozone and childhood asthma. *Am J Prev Med* 41(3):251-257 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amepre.2011.04.017>.
21. Regional Climate Network (RegCNET) [website]. Trieste, Italia: Grupo de Física del Clima, Centro Internacional Abdus Salam International de Física Teórica (2011). [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://users.ictp.it/RegCNET/>.
22. El término "Sur global" se refiere a los países con un índice de desarrollo humano por debajo de 0.8 según los cálculos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo; la mayoría de estos países están situados en el Hemisferio Sur. Las naciones del "Norte global" tienen un índice de desarrollo humano por encima de 0.8. (Informe del PNUD 2011. Informe sobre Desarrollo Humano 2011. Sustainability and Equity: A Better Future for All. Nueva York, NY: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [2011]. [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://hdr.undp.org/en/reports/global/hdr2011/>.)
23. EPA. Climate Change—Health and Environmental Effects. Water Resources [página web]. Washington, DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (actualizado el 5 de diciembre de 2011). Disponible en: <http://www.epa.gov/climatechange/effects/water/> [consultado el 30 de noviembre de 2011].
24. NCCP: National Climate Predictions and Projections Platform [página web]. Disponible en: <http://www.esrl.noaa.gov/cog/nccp/> [consultado el 30 de noviembre de 2011].
25. Roulston MS, et al. A laboratory study of the benefits of including uncertainty information in weather forecasts. *Wea Forecasting* 21(1):116-122 (2006). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1175/WAF887.1>.
26. Ray AJ, et al. Climate Change in Colorado: A Synthesis to Support Water Resources Management and Adaptation. Boulder, CO: Universidad de Colorado en Boulder, Evaluación del Agua de la Región Oeste, NOAA (2008). [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://cwcb.state.co.us/public-information/publications/Documents/ReportsStudies/ClimateChangeReportFull.pdf>.
27. Manabe S, Bryan K. Climate calculations with a combined ocean-atmosphere model. *J Atmos Sci* 26(4):786-789 (1969).
28. World Climate Research Programme [página web]. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de Meteorología (17 de noviembre de 2011). [Consultado el 30 Nov 2011]. Disponible en: <http://www.wcrp-climate.org/>.
29. Cal-Adapt [website]. Sacramento: California Energy Commission (2011). [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://cal-adapt.org/>.
30. Bader DC, et al. Climate Models: An Assessment of Strengths and Limitations. A Report by the U.S. Climate Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research. Washington, DC: Programa Científico sobre el Cambio Climático de Estados Unidos (en inglés, CCSP), Oficina de Investigaciones Biológicas y Ambientales, Departamento de Energía de Estados Unidos (2008). [Consultado el 30 de noviembre de 2011]. Disponible en: <http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap3-1/final-report/sap3-1-final-all.pdf>.



# Obesógenos\*

## Vínculo ambiental con la obesidad

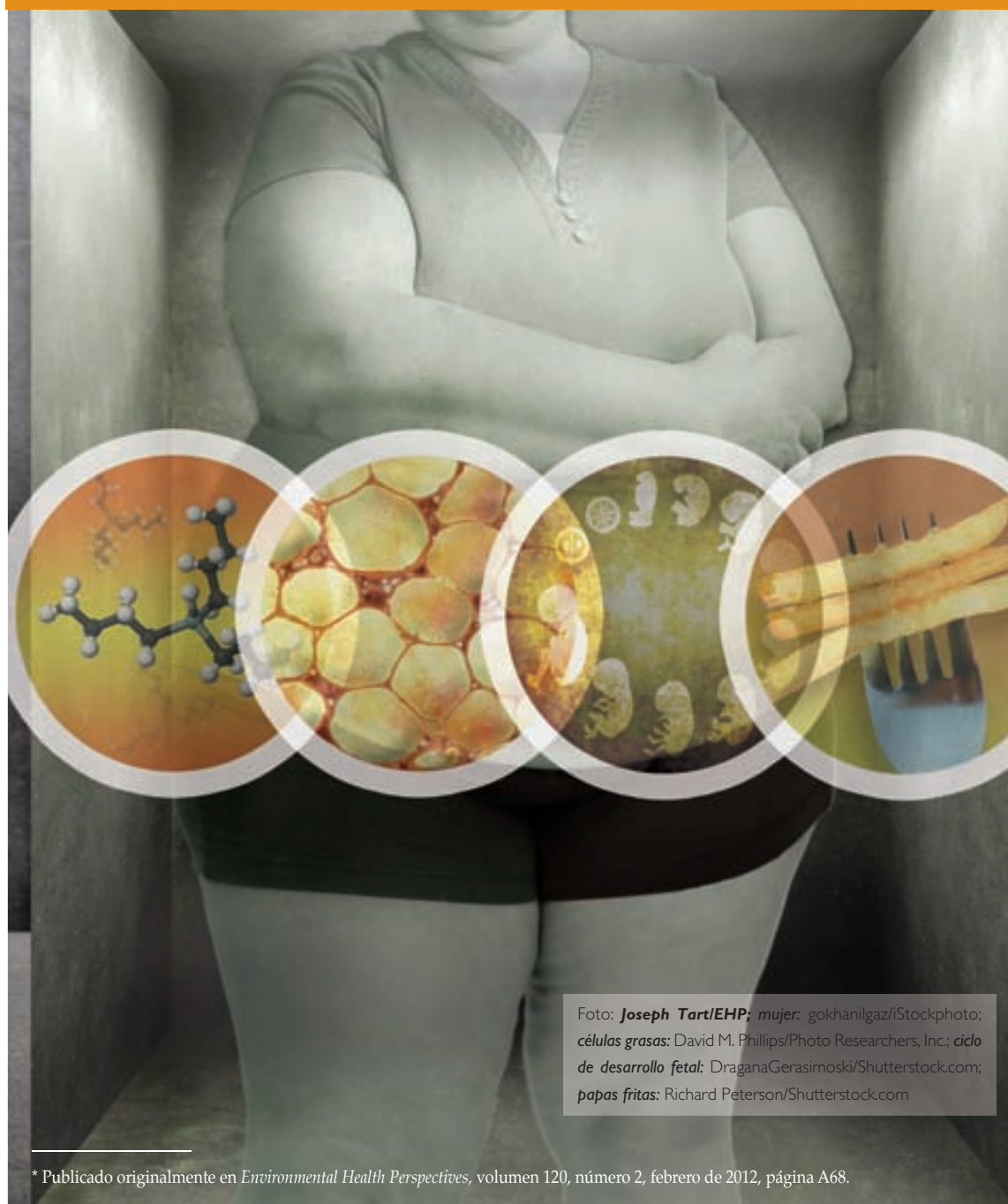


Foto: **Joseph Tart/EHP**; **mujer**: gokhanilgaz/Stockphoto;  
**células grasas**: David M. Phillips/Photo Researchers, Inc.; **ciclo**  
**de desarrollo fetal**: DraganaGerasimoski/Shutterstock.com;  
**papas fritas**: Richard Peterson/Shutterstock.com

\* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 120, número 2, febrero de 2012, página A68.

La obesidad ha aumentado de manera constante en Estados Unidos en los últimos 150 años,<sup>1</sup> y este incremento ha sido más pronunciado en las últimas décadas.<sup>2</sup> Hoy en día en Estados Unidos más de 35% de los adultos<sup>3</sup> y casi 17% de los niños de entre 2 y 19 años de edad son obesos.<sup>4</sup> La obesidad no sólo aqueja a la gente en Estados Unidos sino en todo el mundo, incluyendo, cada vez más los países en vías de desarrollo.<sup>5</sup> Incluso los animales (las mascotas, los animales de laboratorio y las ratas urbanas) han experimentado incrementos en el tamaño promedio de su cuerpo en las últimas décadas,<sup>6</sup> y esta tendencia no necesariamente encuentra una explicación en la dieta y en el ejercicio. En palabras de Robert H. Lustig, profesor de pediatría clínica de la Universidad de California en San Francisco, “[I]ncluso las personas que están en el extremo más bajo de la curva del IMC [índice de masa corporal] están subiendo de peso. Lo que sea que esté ocurriendo, nos está ocurriendo a todos, lo cual sugiere la presencia de un detonante ambiental”.<sup>7</sup>

Muchas personas que forman parte de las comunidades médicas y de la fisiología del ejercicio siguen casadas con la idea de que la mala alimentación y la falta de ejercicio son las únicas causas de la obesidad. Sin embargo, los investigadores están reuniendo evidencias convincentes de la existencia de “obesógenos” químicos: compuestos alimenticios, farmacéuticos e industriales que pueden alterar los procesos metabólicos y predisponer a algunas personas a subir de peso.<sup>8,9</sup>

La idea de que las sustancias químicas en el medio ambiente podrían estar contribuyendo

a la epidemia de obesidad suele atribuirse a un artículo de Paula Baillie-Hamilton, publicado en el *Journal of Alternative and Complementary Medicine* [Revista de Medicina Alternativa y Complementaria] en 2002.<sup>10</sup> Su artículo presentaba evidencias tomada de estudios toxicológicos anteriores, publicados ya desde la década de los 1970, en los cuales se asociaban las exposiciones a dosis bajas de ciertas sustancias químicas al aumento de peso en los animales. Sin embargo, en esa época los investigadores originales no se enfocaban en las implicaciones de los aumentos de peso observados.

El papel que desempeñan las sustancias químicas del medio ambiente en la obesidad ha sido objeto de creciente atención en los círculos académicos y entre las personas encargadas de formular las políticas, y fue reconocido recientemente por el Grupo de Trabajo Presidencial sobre Obesidad Infantil<sup>11</sup> y el Plan de Investigación sobre la Obesidad de los Institutos Nacionales de Salud (INS).<sup>12</sup> “En los últimos diez años, y especialmente en los últimos cinco años, ha habido una oleada de datos nuevos”, dice Kristina Thayer, directora de la Oficina de Evaluación de la Salud y Traslación del Programa Toxicológico Nacional (PTN). “Hay muchos estudios tanto en seres humanos como en animales. El PTN encontró una verosimilitud biológica real”. En 2011 el INS lanzó un esfuerzo de tres años para financiar la investigación con objeto de explorar el papel de las exposiciones químicas ambientales en la obesidad, en la *diabetes mellitus* tipo 2 y en el síndrome metabólico.<sup>13</sup>

La obesidad va en constante aumento en todo el mundo. Hay evidencias convincentes que sugieren que la dieta y el nivel de actividad no son los únicos factores que intervienen en esta tendencia: los “obesógenos” químicos pueden alterar el metabolismo humano y predisponer a algunas personas a subir de peso. Las exposiciones a ciertos obesógenos durante el desarrollo fetal y en las primeras etapas de la vida pueden alterar de por vida el metabolismo de algunos individuos y la constitución de sus células grasas. Otros efectos obesogénicos están vinculados a las exposiciones en la edad adulta.



Foto: © Coneyl Jay/Photo Researchers, Inc

## ¿Qué son la obesidad y el sobrepeso?

**P**ara los adultos, la obesidad se define como el tener un IMC de 30 o más, mientras que el sobrepeso se define como el tener un IMC de 25 o más.<sup>49</sup> Es un poco más complicado definir la obesidad en los niños pues depende de la edad y el sexo del niño o niña. Se considera que los niños son obesos si se encuentran en el 95° percentil, o por encima de éste, de las gráficas de crecimiento específicas para cada sexo, y se considera que tienen sobrepeso si están entre los percentiles 85° y 95°.<sup>50</sup>

El IMC se define como el peso corporal de un individuo dividido entre el cuadrado de su estatura. Si bien no es una medida de la grasa corporal en sí, ésta puede calcularse utilizando un adipómetro para medir tres pliegues de la piel, y luego introducen estas mediciones en ecuaciones específicas para cada sexo. El IMC es ampliamente aceptado como un sustituto preciso del porcentaje de grasa corporal en la población adulta general, y es la medición predilecta en la literatura científica sobre la obesidad.

El concepto de los obesógenos se ha extendido asimismo en la conciencia del público gracias a documentales como “¿Programados para ser gordos?”, transmitido por la Corporación Canadiense de Radio-difusión (CBC) en enero de 2012 y a una sesión sobre los obesógenos en la conferencia anual de la Sociedad de Periodistas en octubre de 2011.<sup>14</sup>

## Modos múltiples de acción

La función principal de las células de grasa consiste en almacenar energía y liberarla cuando se la requiere. Ahora los científicos saben también que el tejido graso actúa como un órgano endocrino que libera hormonas relacionadas con el apetito y el metabolismo. Las investigaciones realizadas hasta la fecha sugieren que los distintos compuestos obesogénicos pueden tener mecanismos de acción diferentes, algunos de los cuales afectan al número de células grasas, otros, su tamaño, y otros más, las hormonas que afectan el apetito, la saciedad, las preferencias alimentarias y el metabolismo de la energía.<sup>15</sup> Algunos efectos obesogénicos pueden transmitirse a las siguientes generaciones mediante cambios epigenéticos, modificaciones heredables del ADN y proteínas histonas que afectan el momento y la manera en que se expresan los genes en las células sin alterar el código genético en sí.<sup>15-17</sup>

Bruce Blumberg, profesor de biología de la Universidad de California en Irvine, acuñó el término “obesógeno” en 2006 cuando descubrió que los compuestos a base de estaño conocidos como organoestados predisponían a los ratones de laboratorio a subir de peso.<sup>18</sup> “Si administras tributiltina [TBT] a ratonas embarazadas, sus crías serán más pesadas que las que no han sido expuestas”, dice. “Hemos alterado la fisiología de estas crías de modo que aún si comen alimentos normales,



engordarán ligeramente". Los datos sobre la exposición de los seres humanos a los organoestaños y sus efectos sobre la salud son relativamente escasos, pero existen estudios que han documentado la presencia de estos compuestos en muestras de sangre,<sup>19</sup> leche<sup>20</sup> e hígado<sup>21</sup> de seres humanos. Si bien se ha ido eliminando gradualmente su uso como biocida y agente anti-incrustante marino, la TBT sigue utilizándose como conservador de maderas y, junto con la dibutilina, como estabilizador en el cloruro polivinílico; contamina muchos canales y ríos navegables y contamina también a los mariscos.<sup>22</sup>

Blumberg estudiaba los perturbadores endocrinos a principios de la década de los 2000 cuando oyó decir en una reunión en Japón que la TBT causa reversión sexual en muchas especies de peces. "Decidí probar si la TBT activaba receptores nucleares conocidos, esperando que activara un receptor de esteroides sexuales", dice Blumberg. En lugar de éste, activó el receptor gamma activado por el proliferador de peroxisoma (PPAR $\gamma$ ), regulador maestro de la adipogénesis, el proceso de creación de adipocitos o células grasas.<sup>23</sup> El PPAR $\gamma$  se conserva de manera evolutiva entre los ratones y los seres humanos, y puede ser particularmente susceptible a los "impostores" químicos porque tiene una gran bolsa fijadora de ligandos que puede dar cabida a muchas estructuras químicas. Cuando una molécula capaz de activar el receptor entra en esa bolsa, pone en marcha el programa adipogénico.

"Si el PPAR $\gamma$  se activa en un preadipocito, éste se convierte en una célula grasa. Si ya es una célula grasa, añade grasa a la célula", dice Blumberg. "La TBT está modificando el metabolismo de los animales expuestos, predisponiéndolos a generar un mayor número de células grasas más grandes". El PPAR $\gamma$  hace que las células estromales multipotentes se diferencien de manera selectiva en

hueso o grasa, y Blumberg encontró que la exposición a la TBT provoca que estas células madres muestren una mayor propensión a convertirse en adipocitos a expensas del linaje óseo. "Lo insidioso es que nuestros animales fueron expuestos a la TBT en el útero y no se les expuso nunca más, y sin embargo la TBT tuvo un efecto permanente."

### Una lista creciente de obesógenos potenciales

La obesidad está fuertemente vinculada con la exposición a factores de riesgo durante el desarrollo fetal e infantil.<sup>15</sup> "Existen entre 15 y 20 sustancias químicas que, según se ha demostrado, provocan aumento de peso principalmente como consecuencia de la exposición durante el desarrollo", dice Jerry Heindel, director del programa de investigación extramuros sobre la obesidad del Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Ambiental (NIEHS). Sin embargo, se ha planteado la hipótesis de que algunos obesógenos afectan a los adultos, y hay estudios epidemiológicos que vinculan los niveles de ciertas sustancias químicas en la sangre humana con la obesidad,<sup>24</sup> así como estudios que demuestran que

ciertos fármacos activan los receptores PPAR $\gamma$ .<sup>15,25</sup>

Algunos plaguicidas en los alimentos y el agua, en particular la atrazina y el DDE (diclorofenil-dicloroetileno –un producto de la descomposición del DDT) han sido vinculados al incremento del IMC en niños y a la resistencia a la insulina en roedores.<sup>26,27</sup> Ciertos fármacos, como el medicamento Avandia (rosiglitazona) para la diabetes, han sido vinculados con el aumento de peso en seres humanos y animales,<sup>9,17</sup> lo mismo que un puñado de obesógenos dietéticos, entre los que se incluyen el fitoestrógeno de soja genisteína<sup>28</sup> y el glutamato monosódico.<sup>15</sup>

La mayoría de los obesógenos conocidos o sospechados son perturbadores endocrinos. Muchos están muy extendidos,<sup>29</sup> y se sospecha o se confirma que la exposición a ellos es muy común. En un estudio realizado en 2010, Kurunthachalam Kannan, profesor de ciencias ambientales de la Universidad Estatal de Nueva York en Albany, documentó la presencia de organoestaños en una bolsa de mano de diseñador, en el papel tapiz, en las persianas de vinilo, en las baldosas y en el polvo de las aspiradoras recolectado en 24 casas.<sup>30</sup> Los ftalatos, plastificantes que también han sido

**Incluso las personas que se encuentran en el extremo más bajo de la curva del IMC están subiendo de peso. Lo que sea que esté ocurriendo nos está ocurriendo a todos, lo que sugiere la presencia de un detonante ambiental.**

**Robert H. Lustig**

Universidad de California,  
San Francisco

relacionados con la obesidad en los seres humanos,<sup>31</sup> están presentes en muchos artículos de PVC, así como en artículos con aroma, tales como los aromatizantes de ambiente, productos para lavar la ropa y productos de cuidado personal.

Uno de los primeros vínculos entre el desarrollo fetal humano y la obesidad surgió de los estudios sobre la exposición al humo de cigarrillo en el útero.<sup>32,33</sup> Si bien la exposición al humo de segunda mano se ha reducido en más de la mitad en los últimos 20 años, se calcula que 40% de los estadounidenses no fumadores todavía tienen subproductos de la nicotina en la sangre, lo que sugiere que la exposición sigue siendo común.<sup>34</sup> Los bebés nacidos de madres fumadoras frecuentemente tienen un peso bajo al nacer, pero tienden a compensar esto subiendo más de peso durante la infancia y la niñez.<sup>35</sup> “Si un niño nace siendo demasiado pequeño para su edad de gestación, trata de ‘emparejarse’ durante el desarrollo y el crecimiento”, explica Retha Newbold, bióloga del desarrollo actualmente jubilada del PTN.

Este patrón de crecimiento compensatorio suele observarse con la exposición durante el desarrollo a sustancias químicas que ahora se consideran obesógenos, incluyendo el dietilestilbestrol (DES), que Newbold estudió a lo largo de los últimos 30 años, utilizando ratones como modelos experimentales. Los médicos prescribieron DES, un estrógeno sintético, a millones de mujeres embarazadas desde finales de la década de los 1930 hasta finales de los 1970 para evitar el aborto espontáneo. Este fármaco tuvo diversos efectos adversos en los hijos de estas mujeres, quienes con frecuencia experimentaron anomalías del tracto reproductivo; las “hijas del DES” también presentaron un riesgo mayor de padecer problemas reproductivos, cáncer vaginal en la adolescencia y cáncer de mama en la edad adulta.<sup>36</sup> Newbold descubrió que las

dosis bajas de DES administradas a los ratones antes o poco después del nacimiento también se asociaban con un incremento del peso,<sup>37</sup> con una expresión alterada de los genes relacionados con la obesidad,<sup>38,39</sup> y con una alteración de los niveles hormonales.<sup>38,39</sup>

“Lo que estamos viendo es que no hay ninguna diferencia en el número de las células grasas, pero la célula en sí misma es más grande después de la exposición a la DES”, dice Newbold. “También hubo una diferencia en la manera en que estaban distribuidas [las células grasas]: adónde iban, cómo se alineaban y la orientación de unas con respecto a las otras. El mecanismo de la distribución de la grasa y de la generación de células grasas se establece durante la vida fetal y neonatal”.

### Perfiles de alta exposición

En los estudios en animales también ha intervenido otro obesógeno sospechado: el bisfenol A (BPA), que se encuentra en los aparatos médicos, en el recubrimiento de algunas latas de alimentos y en los recibos de las cajas registradoras.<sup>40</sup> “El BPA reduce el número de células grasas pero las programa para que incorporen más grasa, de modo que hay menos célu-

las grasas, pero son muy grandes”, explica el profesor de biología de la Universidad de Missouri, Frederick vom Saal, quien ha estudiado el BPA durante los últimos 15 años. “En los animales, la exposición al BPA está produciendo el tipo de resultados que vemos en los seres humanos que nacen con un peso ligero: un incremento de la grasa abdominal e intolerancia a la glucosa”.

Muchos perturbadores endocrinos muestran una curva de dosis y respuesta en forma de U, en la que la mayor parte de la respuesta a las sustancias tóxicas ocurre con las dosis intermedias.<sup>41</sup> Sin embargo, en un estudio inédito reciente, vom Saal encontró que el BPA afectaba a las células grasas de los roedores en dosis muy bajas, unas 1 000 veces por debajo de la dosis que los organismos reguladores suponen que no causa efectos en los seres humanos, mientras que en dosis más elevadas no observó ningún efecto. Comúnmente los receptores responden a niveles muy bajos de hormonas, de modo que es lógico que puedan ser activados por niveles bajos de un compuesto que actúa como una sustancia endocrina, mientras que los niveles elevados de una sustancia química pueden provocar de hecho que los receptores se cierren

**S**i activas el PPAR en un preadipocito, se convierte en una célula grasa. Si ya es una célula grasa, añade más grasa a la célula. La TBT está cambiando el metabolismo de los animales expuestos, predisponiéndolos a formar un mayor número de células grasas más grandes.

**Bruce Blumber**

University of California, Irvine

por completo, lo que evita cualquier respuesta ulterior.<sup>41</sup> A esto se le llama “regulación a la baja de los receptores”. Como resultado, algunos perturbadores endocrinos tienen mayores efectos en dosis bajas que en dosis altas; pueden ser otros los mecanismos que estén operando.<sup>15</sup> Otro obesógeno muy extendido es el ácido perfluorooctanoico (PFOA), un perturbador endocrino potencial y conocido antagonista del PPAR $\gamma$ .<sup>42</sup> “Casi todo mundo en Estados Unidos lo tiene en la sangre, y los niños lo tienen en niveles más elevados que los adultos, quizá debido a sus hábitos: gatean sobre las alfombras, sobre los muebles y se meten cosas en la boca con mayor frecuencia”, explica Suzanne Fenton, bióloga del NIEH. El PFOA es un surfactante utilizado para reducir la fricción y también se utiliza en las cacerolas y sartenes antiadherentes, en la ropa impermeable Gore-Tex, en el repelente de manchas Scotchgard para alfombras, en colchones y en recipientes para calentar alimentos en hornos de microondas. En 2005 DuPont pagó una demanda colectiva por 107.6 millones de dólares después de que su fábrica en las afueras de Parkersburg, Virginia del Oeste, contaminó las reservas de agua potable con PFOA.<sup>43</sup> En diciembre de 2011 un grupo independiente de científicos descubrió el primer “vínculo probable” entre el PFOA y un efecto sobre la salud humana, la hipertensión inducida por el embarazo<sup>44</sup> (para más información, véase ‘La hipertensión inducida, ‘probablemente vinculada’ con la contaminación con PFOA’<sup>45</sup>).

Fenton estudió de qué manera los niveles de PFOA similares a los del agua potable contaminada afectaban los niveles hormonales y el peso de las crías de roedores expuestas en el útero.<sup>46</sup> “Les administramos PFOA a ratonas embarazadas sólo durante el embarazo. Tiene una vida larga, de modo que permanece durante la lactancia y pasa a las crías a través de

la leche”, dice Fenton. “Una vez que las crías llegaron a la edad adulta, se volvieron obesas, alcanzando niveles de peso considerablemente más altos que los controles”.

Las crías expuestas también presentaron niveles elevados de leptina, una hormona secretada por el tejido adiposo que afecta el apetito y el metabolismo. La leptina normalmente suprime el apetito, pero las personas y los animales obesos tienen niveles de leptina elevados, lo que lleva a los investigadores a sospechar que el cerebro puede volverse resistente a sus efectos.<sup>47</sup> Fenton no observó ningún incremento de peso cuando los ratones eran expuestos al PFOA en la edad adulta, aunque su equipo sí encontró anomalías en el útero y las glándulas mamarias de las ratonas adultas expuestas.

### La mirada puesta en la prevención

Si la exposición durante el embarazo predispone a las personas a subir de peso, ¿pueden el ejercicio y la dieta marcar a fin de cuentas alguna diferencia? Blumberg no considera que no haya esperanzas para esta situación. “No quiero decir que la exposición a los obesógenos te quite el libre albedrío o que te condene a la gordura”, dice. “Sin embargo, sí cambiará tus valores metabólicos de referencia para hacerte subir de peso. Si tienes más células grasas y una propensión a formar más células grasas, y si comes la típica dieta alta en carbohidratos y en grasas que comemos [en Estados Unidos], probablemente engordarás”.

Blumberg postula que los efectos de la exposición en las etapas tempranas de la vida son irreversibles, y que esas personas tendrán que librar una batalla durante toda su vida. Sin embargo, si esas personas reducen su exposición a los obesógenos, también reducirán los efectos sobre la salud que puedan surgir de una exposición

regular en la edad adulta. Blumberg considera que es bueno reducir la exposición a todo tipo de sustancias químicas perturbadoras del sistema endocrino. “Come alimentos orgánicos, filtra el agua, minimiza el plástico en tu vida”, dice. “Si no reporta un beneficio y sí conlleva cierto grado de riesgo, ¿por qué habrías de exponerte y exponer a tu familia?”

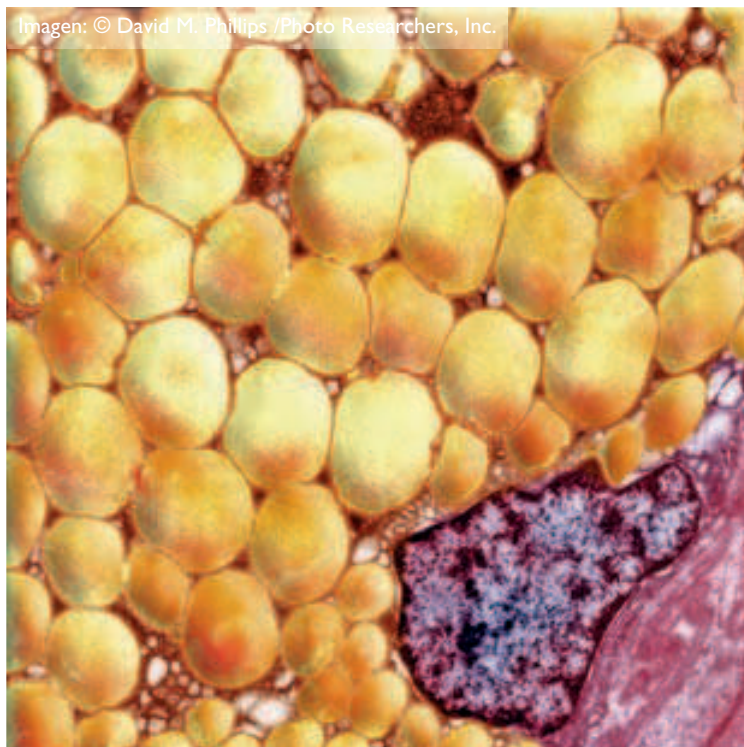
Heindel espera que el nuevo esfuerzo de asignación de fondos realizado por el INS redunde en descubrimientos importantes. “Es un campo muy nuevo, y la gente siempre es escéptica respecto a los campos nuevos”, dice. “Nos corresponde a nosotros obtener más datos para demostrar que las sustancias químicas realmente están interfiriendo con el sistema endocrino que controla el peso y el metabolismo. Y queda todavía la pregunta de qué tan importante es esto para los seres humanos. Nunca lo sabremos hasta tener más datos”.

“¿Y si esto fuera verdad y las sustancias químicas están teniendo un efecto considerable en la obesidad?” reflexiona Heindel. “Si pudiéramos demostrar que las sustancias químicas en el medio ambiente desempeñan un papel importante, entonces podríamos trabajar para reducir la exposición durante las ventanas de mayor vulnerabilidad, y eso podría tener un efecto enorme [sobre la prevalencia de la obesidad]”. Cambiaría el enfoque de tratar a los adultos que ya son obesos para prevenir la obesidad antes de que comience: un cambio fundamental en la manera de concebir la obesidad.

El NIEHS está elaborando prioridades para la investigación sobre los obesógenos potenciales. Thayer fue la fuerza primordial detrás del taller “El papel de las sustancias químicas ambientales sobre el desarrollo de la diabetes y la obesidad”,<sup>48</sup> que tuvo lugar en enero de 2011, con el co-patrocinio del PTN, la Agencia de Protección al Medio Ambiente, y



Imagen: © David M. Phillips /Photo Researchers, Inc.



Micrografía electrónica de transmisión de células grasas humanas. Las investigaciones realizadas hasta la fecha sugieren que distintos obesógenos pueden tener mecanismos de acción diferentes que afectan el número o el tamaño de las células grasas o las hormonas que afectan el apetito, la saciedad, las preferencias alimentarias y el metabolismo.

#### Obesógenos conocidos y sospechados

##### **Dieta**

- Fructosa
- Genisteína
- Glutamato monosódico

##### **Tabaquismo\***

- Nicotina

##### **Fármacos**

- Dietilestilbestrol
- Estradiol

##### **Sustancias químicas industriales**

- Bisfenol A (BPA)
- Organoestaños
- Ácido perfluorooctanoico (PFOA)
- Ftalatos
- Éteres polibrominados (PBDEs)
- Éteres bifenilos policlorados (PCBs)

##### **Pesticidas con base en organofosfatos**

- Cloropirifos
- Diazinona
- Paratión

##### **Otros contaminantes ambientales**

- Benzo[a]pireno
- Materia particulada fina (MP<sub>2.5</sub>)
- Plomo

\*El humo de cigarrillo también es una fuente de exposición al benzo[a]pireno y a las MP<sub>2.5</sub>.

el Centro Nacional de Investigación Toxicológica de la Administración de Alimentos y Medicamentos. “La idea era hacer que los expertos revisen la literatura y vean cuáles podrían ser las señales más convincentes y qué áreas emergentes justificaban una mayor investigación”, explica Thayer. Estos hallazgos ayudarán a identificar las prioridades para investigaciones futuras, y una serie de trabajos derivados del taller están siendo enviados a revistas para su publicación.

“Nos sorprendió el número de sustancias químicas que parecen estar interactuando con las vías de señalización que intervienen en la

regulación del peso”, dice Thayer. Añade que la evidencia también sugiere que estos mismos compuestos están ligados a la diabetes y al síndrome metabólico, “una dirección poco estudiada pero natural para la investigación, que vincula los problemas de la obesidad y la diabetes”.

#### **Referencias**

1. Costa DL, Steckel RH. Long-term trends in health, welfare, and economic growth in the United States. En: *Health and Welfare During Industrialization* (Steckel RH, Floud R, eds.). Chicago, IL: The University of Chicago Press (1997).

2. Flegal KM, et al. Prevalence and trends in obesity among US adults, 1999-2008. *JAMA* 303(3):235-241 (2010). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2009.2014> [online 17 Jan 2012].

3. Flegal KM, et al. Prevalence of obesity and trends in the distribution of body mass index among US adults, 1999-2010. *JAMA*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2012.39> [online 17 Jan 2012].

4. Ogden CL, et al. Prevalence of obesity and trends in body mass index among US children and adolescents, 1999-2010. *JAMA*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1001/jama.2012.40> [en línea 17 de enero de 2012].

5. WHO. Obesity and Overweight, Factsheet No. 311 [sitio web]. Ginebra, Suiza: Organización Mundial de la Salud (actualizado en marzo de 2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/en/>.

6. Klimentidis YC, et al. Canaries in the coal mine: a cross-species analysis of the plurality of obesity epidemics. *Proc R Soc Biol Sci* 278(1712):1626-1632 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2010.1890>.
7. Lustig RH. Childhood obesity: behavioral aberration or biochemical drive? Reinterpreting the first law of thermodynamics. *Nature Clin Pract Endocrinol Metab* 2(8):447-458 (2006); <http://dx.doi.org/10.1038/ncpendmet0220>.
8. Newbold RR, et al. Environmental estrogens and obesity. *Mol Cell Endocrinol* 304 (1-2):84-89 (2009). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mce.2009.02.024>.
9. Janesick A, Blumberg B. Endocrine disrupting chemicals and the developmental programming of adipogenesis and obesity. *Birth Defects Res Part C Embryo Today Rev* 93(1):34-50 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/bdrc.20197>.
10. Baillie-Hamilton PF. Chemical toxins: a hypothesis to explain the global obesity epidemic. *J Altern Complement Med* 8(2):185-192 (2002). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1089/107555302317371479>.
11. White House Task Force on Childhood Obesity. Solving the Problem of Childhood Obesity within a Generation (May 2010). Washington, DC: Grupo de Trabajo de la Casa Blanca sobre Obesidad Infantil, Oficina Ejecutiva del Presidente de Estados Unidos. [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: [http://www.letsmove.gov/sites/letsmove.gov/files/TaskForce\\_on\\_Childhood\\_Obesity\\_May2010\\_FullReport.pdf](http://www.letsmove.gov/sites/letsmove.gov/files/TaskForce_on_Childhood_Obesity_May2010_FullReport.pdf).
12. NIH. Strategic Plan for NIH Obesity Research: A Report of the NIH Obesity Task Force. NIH Publication No. 11-5493. Bethesda, MD: Institutos Nacionales de Salud, Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos (2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://www.obesityresearch.nih.gov/About/strategic-plan.aspx>.
13. NIH. Role of Environmental Chemical Exposures in the Development of Obesity, Type 2 Diabetes and Metabolic Syndrome (R01). National Institutes of Health Grants [sitio web]. Bethesda, MD: Institutos Nacionales de Salud, Departamento de Salud y Servicios Humanos (2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://grants.nih.gov/grants/guide/pa-files/PAR-11-170.html>.
14. Cone M, et al. Diseases and Chemicals: Are Environmental Exposures Fueling Our Worst Epidemics? [panel session]. Presentado en: 21ª Conferencia Anual de la Sociedad de Periodistas Ambientales, Miami, FL, 21 Oct 2011. [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Available: <http://www.sej.org/initiatives/sej-annual-conferences/AC2011-agenda-friday>.
15. Lustig RH, ed. Obesity before Birth: Maternal and Prenatal Influences on the Offspring. Nueva York, NY:Springer (2010).
16. Janesick A, Blumberg B. Minireview: PPAR $\gamma$  as the target of obesogens. *J Steroid Biochem Mol Biol* 127(1-2):4-8 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsbmb.2011.01.005>.
17. Li X, et al. The environmental obesogen tributyltin chloride acts via peroxisome proliferator activated receptor gamma to induce adipogenesis in murine 3T3-L1 preadipocytes. *J Steroid Biochem Mol Biol* 127(1-2):9-15 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsbmb.2011.03.012>.
18. Grün F, Blumberg B. Environmental obesogens: organotins and endocrine disruption via nuclear receptor signaling. *Endocrinol* 147(6):S50-S55 (2006). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1210/en.2005-1129>.
19. Kannan K, et al. Occurrence of butyltin compounds in human blood. *Environ Sci Technol* 33(10):1776-1779 (1999). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/es990011w>.
20. Mino Y, et al. Determination of organotins in human breast milk by gas chromatography with flame photometric detection. *J Health Sci* 54(2):224-228 (2008). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1248/jhs.54.224>.
21. Nielsen JB, Strand J. Butyltin compounds in human liver. *Environ Res* 88(2):129-133 (2002). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1006/enrs.2001.4321>.
22. Cardwell RD, et al. Tributyltin in U.S. market-bought seafood and assessment of human health risks. *Hum Ecol Risk Assess* 5(2):317-335 (1999). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1080/10807039991289464>.
23. Evans RM, et al. PPARs and the complex journey to obesity. *Nat Med* 10(4):355-361 (2004). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/nm1025>.
24. Tang-Péronard JL, et al. Endocrine-disrupting chemicals and obesity development in humans: a review. *Obes Rev* 12(8):622-636 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-789X.2011.00871.x>.
25. Lustig RH. Fructose: metabolic, hedonic, and societal parallels with ethanol. *J Am Diet Assoc* 110(9):1307-1321 (2010). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jada.2010.06.008>.
26. Valvi D, et al. Prenatal concentrations of PCBs, DDE, DDT and overweight in children: a prospective birth cohort study. *Environ Health Perspect*. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1103862> [en línea 25 de octubre de 2011].
27. Lim S, et al. Chronic exposure to the herbicide, atrazine, causes mitochondrial dysfunction and insulin resistance. *PLoS ONE* 4(4):e5186 (2009). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0005186>.
28. Penza M, et al. Genistein affects adipose tissue deposition in a dose-dependent and gender-specific manner. *Endocrinol* 147(12):5740-5751 (2006). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1210/en.2006-0365>.
29. The Endocrine Disruptor Exchange (TEDX) List of Potential Endocrine Disruptors [sitio web]. Paonia, CO: The Endocrine Disruption Exchange (2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://www.endocrinedisruption.com/endocrine.TEDXList.overview.php>.
30. Kannan K, et al. Organotin compounds, including butyltins and octyltins, in house dust from Albany, New York, USA. *Arch Environ Contam Toxicol* 58:901-907 (2010). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s00244-010-9513-6>.
31. Stahlhut R, et al. Concentrations of urinary phthalate metabolites are associated with increased waist circumference and insulin resistance in adult U.S. males. *Environ Health Perspect* 115(6):876-882 (2007). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.9882>.
32. von Kries R, et al. Maternal smoking during pregnancy and childhood obesity. *Am J Epidemiol* 156(10):954-961 (2002). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1093/aje/kwf128>.
33. Bergmann KE, et al. Early determinants of childhood overweight and adiposity in a birth cohort study: role of breast-feeding. *Int J Obes* 27(2):162-172 (2003). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/sj.ijo.802200>.
34. CDC. Smoking & Tobacco Use: Secondhand Smoke (SHS) Facts. [website]. Atlanta, GA: Centers for Disease Control and Prevention (updated 21 Mar 2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: [http://www.cdc.gov/tobacco/data\\_statistics/fact\\_sheets/secondhand\\_smoke/general\\_facts/index.htm#disparities](http://www.cdc.gov/tobacco/data_statistics/fact_sheets/secondhand_smoke/general_facts/index.htm#disparities).
35. Gao YJ, et al. Prenatal exposure to nicotine causes postnatal obesity and altered perivascular adipose tissue function. *Obes Res* 13(4):687-692 (2005). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/oby.2005.77>.
36. Newbold RR. Diethylstilbestrol (DES) and environmental estrogens influence the developing female reproductive system. In: *Endocrine Disruptors: Effects on Male and Female Reproductive Systems* (Naz RK, comp.). Boca Raton, FL: CRC Press (1999).
37. Newbold RR, et al. Developmental exposure to estrogenic compounds and obesity. *Birth Def Res Part A Clin Mol Teratol* 73(7):478-480 (2005). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/bdra.20147>.
38. Newbold RR, et al. Perinatal exposure to environmental estrogens and the development of obesity. *Mol Nutr Food Res* 51(7):912-917 (2007). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1002/mnfr.200600259>.
39. Newbold RR, et al. Developmental exposure to endocrine disruptors and the obesity epidemic. *Reprod Toxicol* 23(3):290-296 (2007). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.reprotox.2006.12.010>.
40. Somm E, et al. Perinatal exposure to bisphenol A alters early adipogenesis in the rat.

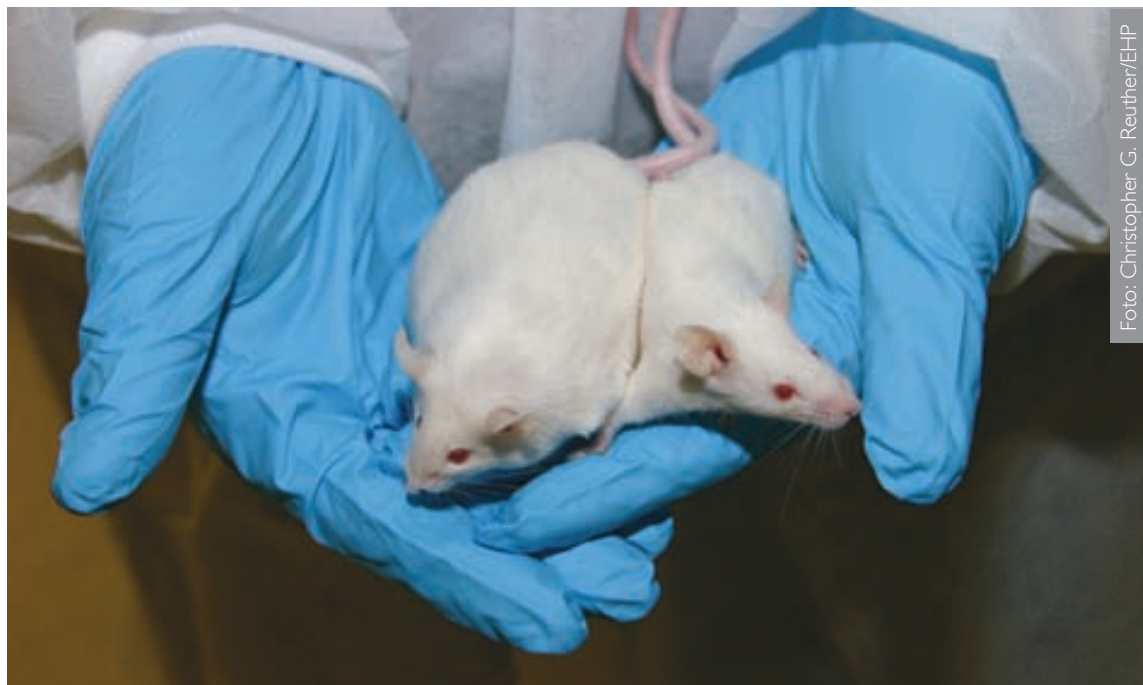


Foto: Christopher G. Reuther/EHP

En un estudio realizado por la bióloga del NIEHS Suzanne Fenton, los ratones expuestos durante la etapa prenatal al PFOA mostraron más probabilidades que los controles de volverse obesos al llegar a la edad adulta.<sup>46</sup>

Environ Health Perspect 117(10):1549-1555 (2009). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.11342>.

41. Welshons WV, et al. Large effects from small exposures. I. Mechanisms for endocrine-disrupting chemicals with estrogenic activity. Environ Health Perspect 111(8):994-1006(2003). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.5494>.

42. White SS, et al. Endocrine disrupting properties of perfluorooctanoic acid. J Steroid BiochemMolBiol 127(1-2):16-26 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsbmb.2011.03.011>.

43. DuPont Reaches Settlement with Class Action Group [press release]. Wilmington, DC, and Parkersburg, WV:DuPont (2 Sep 2004). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: [http://www2.dupont.com/Media\\_Center/en\\_US/news\\_releases/2004/nr09\\_09\\_04.html](http://www2.dupont.com/Media_Center/en_US/news_releases/2004/nr09_09_04.html).

44. C8 Science Panel. Probable Link Evaluation of Pregnancy Induced Hypertension and Preeclampsia (5 Dec 2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: [http://www.c8sciencepanel.org/pdfs/Probable\\_Link\\_C8\\_PIH\\_5Dec2011.pdf](http://www.c8sciencepanel.org/pdfs/Probable_Link_C8_PIH_5Dec2011.pdf).

45. Holtcamp W. Pregnancy-induced hypertension "probably linked" to PFOA contamination. Environ Health Perspect 120(2):A59 (2012). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.120-a59>.

46. Hines EP, et al. Phenotypic dichotomy following developmental exposure to perfluorooctanoic acid (PFOA) in female CD-1 mice: Low doses induce elevated serum leptin and insulin, and overweight in mid-life. Mol CellEndocrinol 304(1-2):97-105 (2009). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.mce.2009.02.021>.

47. Enriori PJ, et al. Leptin resistance and obesity. Obesity 14:254S-258S (2006). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1038/oby.2006.319>.

48. NTP. NTP Workshop: Role of Environmental Chemicals in the Development of Diabetes and Obesity [website]. Research Triangle Park, NC:National Toxicology Program, National Institute of Environmental Health Sciences (updated 14 Sep 2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://ntp.niehs.nih.gov/?objectid=49E4B077-C108-8BBA-25B2F05DE614C9C4>.

49. CDC. Defining Overweight and Obesity [sitio website]. Atlanta, GA: Centros de Control y Prevención de Enfermedades (actualizado el 21 de junio de 2010). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://www.cdc.gov/obesity/defining.html>.

50. CDC. About BMI for Children and Teens [sitio web]. Atlanta, GA:Centers for Disease Control and Prevention (actualizado el 13 de septiembre de 2011). [Consultado el 29 de diciembre de 2011]. Disponible en: [http://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/childrens\\_BMI/about\\_childrens\\_BMI.html](http://www.cdc.gov/healthyweight/assessing/bmi/childrens_BMI/about_childrens_BMI.html).



# Toxicidad de las mezclas de metales\*

¿Más que la suma de sus partes?

La mayoría de los estudios toxicológicos se centran en una sola sustancia química o en una sola sustancia tóxica a la vez, aunque en el mundo real la gente está expuesta a múltiples sustancias a la vez. Los metales, por ejemplo, se encuentran con frecuencia en combinaciones en el aire, el agua y los alimentos. Ahora los investigadores han realizado un estudio epidemiológico prospectivo para examinar los efectos sobre el desarrollo neurológico de la exposición al manganeso y el plomo [EHP 120(1):126-131; Claus Henn *et al.*].

El estudio incluyó a 455 niños inscritos al momento de su nacimiento en un estudio cohorte longitudinal de la Ciudad de México, a los cuales se dio seguimiento hasta los 36 meses de edad. Los investigadores midieron los niveles de plomo y manganeso en su sangre a las edades de 12 y 24 meses. Se evaluó su desarrollo cognitivo, motor y lingüístico cada 6 meses desde los 12 hasta los 36 meses de edad utilizando las Escalas de Bayley de Desarrollo Infantil-II. Tanto el plomo como el manganeso ejercen sus efectos tóxicos sobre el desarrollo infantil principalmente a través del sistema nervioso central.

Se asoció la exposición simultánea al manganeso y al plomo con deficiencias en el desarrollo mental y

psicomotor mayores que las esperadas con base en los efectos estimados de la exposición a cada uno de estos metales por sí solo; esto concuerda con un efecto sinérgico sobre el neurodesarrollo. Las asociaciones fueron mayores a la edad de 12 meses, en que el Índice de Desarrollo Mental fue 2.16 puntos más bajo por cada incremento de una unidad en el nivel de plomo en la sangre en los niños con altos niveles de manganeso que en los niños con niveles medios de manganeso. El Índice de Desarrollo Psicomotor a la edad de 12 meses fue 0.97 puntos menor por cada incremento de una unidad del nivel de plomo en sangre entre los niños con un nivel elevado de manganeso que en los niños con un nivel medio de manganeso. Los autores sugieren que el periodo de desarrollo hasta los 12 meses de edad puede ser particularmente sensible a esta interacción.

Las diferencias en los puntajes de desarrollo mental y psicomotor fueron pequeñas para los individuos, pero los autores describen que estas diferencias pueden tener consecuencias a nivel de la población si llegan a modificar toda la distribución de los puntajes de desarrollo neurológico. Esto incrementaría el número de niños que reunirían las condiciones para un diagnóstico de problemas

de neurodesarrollo (y que requerirían tratamiento), y provocaría una disminución del coeficiente intelectual promedio.

Entre las fortalezas del estudio se incluye una población de estudio estable con escasa deserción, así como las repetidas mediciones del desarrollo neurológico entre los 12 y los 36 meses, que permitieron a los investigadores evaluar las asociaciones a través del tiempo y ofrecieron un poder estadístico mayor que los análisis transversales. Entre los puntos débiles del estudio se cuenta la falta de evaluación formal de las exposiciones, lo que significa que las fuentes de la exposición a los metales eran desconocidas. Además, los instrumentos utilizados en el estudio para probar el desarrollo neurológico no fueron normalizados para la población mexicana, de modo que los puntajes resultantes son relativamente bajos en comparación con el puntaje medio esperado de 100 en una población de Estados Unidos y no pueden ser generalizados a otras poblaciones.

**Angela Spivey**

Radica en Carolina del Norte, desde donde escribe sobre medicina, salud ambiental y finanzas personales.

\* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 120, número 1, enero de 2012, página A35.

*En esta era, en la que se cree que todo tiene su atajo, la gran lección que debemos aprender es que el camino más difícil es a la larga el más fácil.*

Henry Miller, *Los libros en mi vida*, prefacio (1952).

## Cambio climático

# Manejo de los riesgos del clima extremo: informe especial del IPCC\*

El número de días y noches cálidos ha aumentado globalmente en los últimos años, según un informe especial<sup>1</sup> que se centra exclusivamente en los eventos climáticos extremos, presentado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC),<sup>2</sup> mientras que el número de días fríos ha disminuido. El futuro presenta un aspecto similar, dice el grupo IPCC: si los países continúan incrementando sus emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el gas invernadero que las actividades humanas producen en mayores cantidades, las ondas de calor mortales y las precipitaciones pluviales intensas serán más frecuentes. Por otra parte, es probable que los ciclones tropicales devastadores se mantengan iguales o incluso disminuyan.

El 18 de noviembre de 2011 se publicó un informe sumario destinado a las personas encargadas de formular las políticas, previo a la publicación, en febrero de 2012, de la versión completa del Informe Especial del IPCC, "Manejo de los riesgos de los eventos extremos y desastres para promover la adaptación al cambio climático" (en inglés, SREX). Varios aspectos del SREX están diseñados para informar a los gobiernos y a otros tomadores de decisiones que luchan por desarrollar planes de adaptación al cambio

climático. El informe ofrece medidas de adaptación que los planificadores pueden implementar para proteger la salud humana durante los eventos climáticos extremos. Entre éstos se incluyen actividades preventivas que proporcionan beneficios en la actualidad y en una serie de escenarios futuros, tales como la instalación de sistemas que adviertan a las personas de los desastres inminentes y el mejoramiento de los sistemas de vigilancia de la salud, agua potable y drenaje.

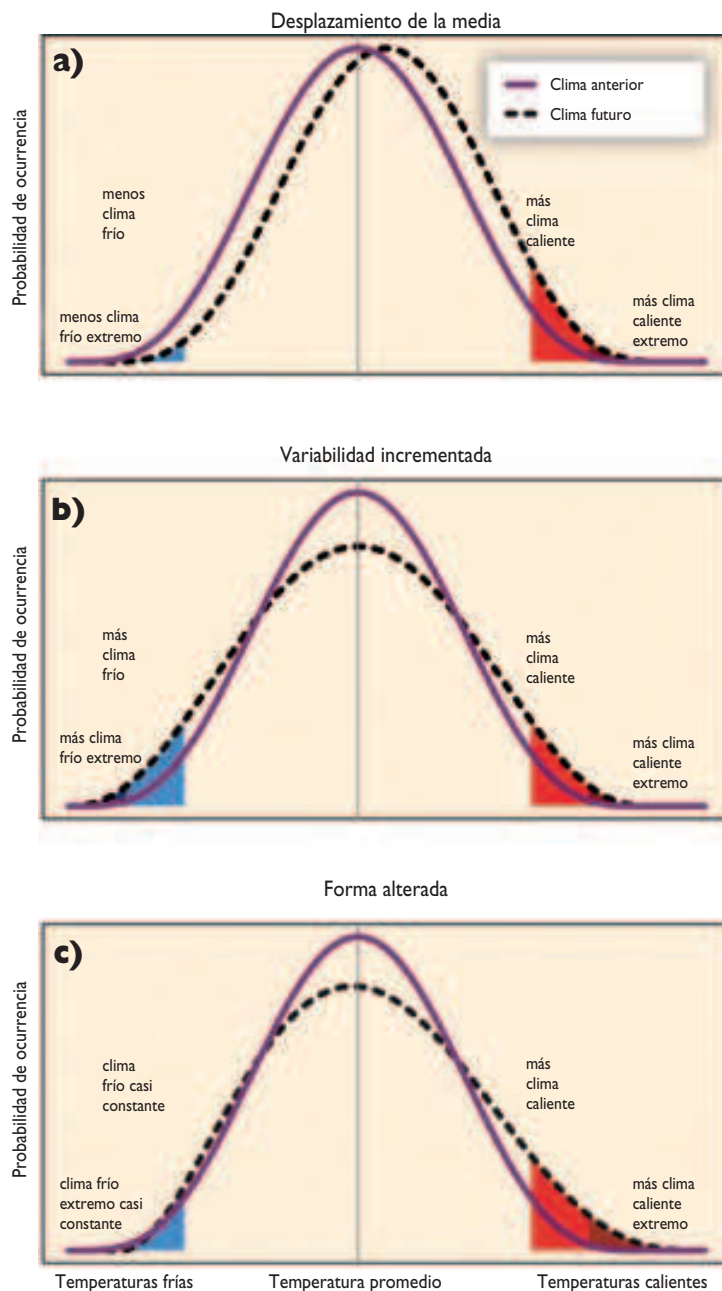
Esta publicación representa la primera vez que los grupos de trabajo del IPCC I (centrado en la base científica física del cambio climático) y II (centrado en los impactos, la adaptación y la vulnerabilidad) han colaborado en un informe, dice la autora coordinadora principal del SREX Sonia I. Seneviratne, profesora adjunta del Instituto de Ciencias Atmosféricas y Climáticas del Instituto Tecnológico Federal de Zürich. También incluye a varios autores principales de la comunidad de manejo de riesgo en los desastres. "Creo que el informe permite una mejor integración de la información desde las proyecciones físicas de los extremos climáticos hasta el manejo de desastres y las opciones de adaptación al clima. Por estos motivos debería ser particularmente valioso

para los tomadores de decisiones", dice Seneviratne.

El análisis concluye que los eventos climáticos extremos afectarán particularmente a los sectores estrechamente unidos al clima: agua, agricultura, seguridad alimentaria, silvicultura, salud y turismo. La gravedad de los impactos de los climas extremos en la salud humana reflejará qué tan vulnerable y qué tan preparada está una comunidad. Por ejemplo, las personas que viven en áreas con una urbanización rápida y no planificada, degradación ambiental y pobreza son más vulnerables a los azares de los eventos climáticos que aquellas que viven en comunidades mejor planeadas, mejor protegidas y con mayores ingresos. Después de un desastre, rezan las notas sumarias, los planeadores deberán enfocarse en una reconstrucción que mejore la resistencia de una comunidad a los desastres relacionados con el clima, en lugar de recrear o incluso empeorar las vulnerabilidades.

El informe ayuda a disipar en cierta medida la confusión que sienten quienes no son científicos cuando leen reportes noticiosos sobre tormentas de nieve devastadoras al tiempo que la tierra supuestamente se está calentando.<sup>3</sup> Gerald A. Meehl, científico principal del Centro

\* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 120, número 2, febrero de 2012, página A58.



Los cambios en la media, la varianza o la forma de las distribuciones de la probabilidad climática, o alguna combinación de estas tres, podrían significar un cambio en el número y la gravedad de los eventos climáticos extremos. (Fuente: IPCC I)

Nacional de Investigaciones Atmosféricas (NCAR) y autor principal del capítulo sobre el cambio climático a corto plazo del Quinto Informe de Evaluación del IPCC, de próxima publicación (en el año 2014), explica que la naturaleza misma del calentamiento global exagera los eventos climáticos extremos de todos tipos, no sólo relacionados con el calor.

“Sabemos que el CO<sub>2</sub> atrapa el calor en la atmósfera”, dice Meehl. “Eso hace que las cosas se calienten, y el aire caliente retiene más humedad, lo que significa que hay más humedad disponible como fuente de precipitaciones en tormentas”. La intensidad de las precipitaciones disminuye, dice, aun cuando el número total de tormentas pueda no disminuir. Incluso en un clima mucho más caliente, añade Meehl, habrá temperaturas frías récord y tormentas de nieve. No obstante, a medida que la atmósfera continúe calentándose “los fríos extremos se presentarán con menor frecuencia que el calor extremo”,<sup>4</sup> dice.

Por lo menos un científico opina que el SREX subestima el grado en el que las actividades humanas afectan el clima. Kevin Trenberth, distinguido científico principal de la Sección de Análisis Climático del NCAR, dice que el informe “adopta inherentemente una hipótesis nula de que no hay una influencia humana. En realidad, muchos estudios han demostrado lo contrario”.

Si a esto se agrega que con frecuencia en los conjuntos de datos a corto plazo hay cierta variabilidad, así como el hecho de que muchos modelos no simulan correctamente ciertos eventos extremos como las tormentas tropicales y los monzones, el mensaje parecería ser que no hay ninguna influencia humana, según Trenberth. “El resultado de la hipótesis nula es que los errores provenientes de los modelos y datos imperfectos yerra por el lado de decir

que no hay influencia humana cuando en realidad sí la hay”, dice. “Este es un problema fundamental en la comunidad científica y en las percepciones del público.... El resultado ha sido que han surgido incertidumbres abrumadoras y se han paralizado las acciones”.

**Catherine M. Cooney**

Escritora científica radicada en Washington, DC. Ha colaborado en *Environmental Science & Technology* y en otras publicaciones.

## Referencias y notas

1. IPCC. Summary for Policymakers. En: Intergovernmental Panel on Climate Change Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (Field CB, et al., comps). Nueva York, NY: Cambridge University Press (2011). [Consultado el 2 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://ipcc-wg2.gov/SREX/>.
2. El IPCC es el cuerpo de científicos encargado de evaluar el riesgo del cambio climático provocado por la actividad humana, las bases científicas del cambio climático y las opciones de migración.

3. NASA Earth Observatory [sitio web]. Greenbelt, MD: Observatorio de la Tierra de la NASA, Oficina Científica del Proyecto EOS, Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (adquirido el 7 de febrero de 2010). [Consultado el 2 de diciembre de 2011]. Disponible en: <http://earthobservatory.nasa.gov/IOTD/view.php?id=42568>.
4. Meehl GA, et al. Relative increase of record high maximum temperatures compared to record low minimum temperatures in the U.S. *Geophys Res Lett* 36:L23701 (2009); <http://dx.doi.org/10.1029/2009GL040736>

## Contaminación del agua

# La cafeína en las aguas residuales es un trazador de la contaminación con heces fecales humanas\*

La contaminación de las aguas superficiales con aguas negras puede ser un problema grave que exponga a las personas a organismos patógenos transportados por el agua tales como *Cryptosporidium*, *Giardia* y norovirus a través de las aguas recreativas<sup>1,2</sup> y de las reservas de agua potable.<sup>3</sup> Los contaminantes pueden escurrirse hacia los canales y vías fluviales desde muchas fuentes distintas (domésticas, agrícolas e industriales), y no siempre es fácil identificar de dónde procede la contaminación. Un nuevo estudio indica que la medición de la cafeína en los sistemas de agua municipales permite estimar con bastante precisión la contaminación fecal ocasionada exclusivamente por los seres humanos.<sup>4</sup>

El equipo de investigadores dirigido por Sébastien Sauvé, profesor adjunto del Departamento de Quí-

mica de la Universidad de Montreal en Québec, descubrió que los niveles de cafeína guardan una relación estrecha con los niveles de bacterias coliformes fecales. La cafeína es un indicador particularmente bueno de contaminación fecal humana porque en general las fuentes agrícolas e industriales no liberan cafeína en el ambiente. Además la ubicuidad del consumo de cafeína significa que allí donde hay aguas residuales humanas es casi seguro que habrá cafeína.<sup>4</sup>

El equipo de Sauvé analizó muestras de agua tomadas de arroyos, de tuberías de recolección de agua de lluvia y de puntos de vertido de aguas pluviales en la ciudad de Montreal. Midió la cafeína, los coliformes fecales y el fármaco antiepiléptico carbamazepina, otro candidato a ser un indicador químico de la contaminación con aguas residuales humanas.<sup>5</sup> De 120 muestras

recolectadas, 93 contenían más de 200 unidades formadoras de colonias (ufc) de coliformes fecales por cada 100 ml de agua.

Se halló una marcada correlación entre los conteos de coliformes fecales y la cafeína, pero no ocurrió lo mismo con la carbamazepina.<sup>4</sup> Todas las muestras de agua con más de 400 ng/l de cafeína (un umbral arbitrario seleccionado por los autores) estaban contaminadas con coliformes fecales en concentraciones mayores de 200 ufc/100 ml. La Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos fijó como norma para las aguas recreativas y de natación seguras un nivel de 235 ufc/100 ml de coliformes fecales;<sup>6</sup> en Canadá el límite es de 200 ufc/100 ml.<sup>7</sup>

Sauvé hace esta comparación práctica de sus datos: “Cualquier muestra de agua que contenga más

\* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 120, número 3, marzo de 2012, página A108-A109.



del equivalente de diez tazas diluidas en una alberca de tamaño olímpico definitivamente está contaminada con coliformes fecales". Añade que los equipos de ELISA que detectan la cafeína podrían ser calibrados para el trabajo de campo.

El químico ambiental Piero Gardinali de la Universidad Internacional de Florida en el norte de Miami señala que los resultados de Sauv e indican claramente que la correlación es relevante y que podría utilizarse un umbral de 400 ng/L para fines de la evaluación del medio ambiente. "El hallazgo de este vínculo fue sumamente importante", dice Gardinali.

La gente consume cafeína de manera regular en café, t , refrescos, chocolate y medicamentos,<sup>8</sup> y después de la excreción la cafeína se degrada lentamente en el medio ambiente.<sup>5</sup> La cafeína ofrece varias ventajas como trazador de la contaminación ambiental fecal. Un motivo es que es más rápido que los cultivos de bacterias que se utilizan actualmente para medir los coliformes fecales, los cuales requieren mucho tiempo. La presencia de la cafeína es indicativa exclusivamente de la contaminación fecal humana, mientras que los cultivos de coliformes fecales normalmente no distinguen entre los excrementos humanos y los de mascotas, animales salvajes y ganado. El descubrimiento

también ofrece a los funcionarios de obras públicas una herramienta potencial para localizar las fugas de los sistemas de alcantarillado. "Si no hay cafeína corriente arriba pero sí corriente abajo, entonces la fuga est  en un punto intermedio", dice Sauv e.

El estudio de Sauv e también demostró que algunas partes del sistema de recolección de aguas pluviales de Montreal, el cual combina el agua de lluvia con las aguas residuales domésticas, ocasiona contaminación de las aguas superficiales. Idealmente el agua de lluvia debería fluir hacia un río, y las alcantarillas deberían ser conducidas hacia plantas de tratamiento de aguas residuales. Pero en Montreal, como en muchas otras ciudades, tanto las escorrentías pluviales como el alcantarillado sanitario desembocan en los llamados sistemas de drenaje combinado, que pueden desbordarse durante las lluvias intensas.<sup>9</sup> "Cualquier gran ciudad en la que se combinan las aguas residuales y las escorrentías pluviales tiene problemas de contaminación cruzada", dice Sauv e.

**Carol Potera,**

radicada en Montana, ha escrito para *EHP* desde 1996. También escribe para *Microbe*, *Genetic Engineering News*, y la *American Journal of Nursing*.

## Referencias y notas

1. Yoder J, et al. Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with drinking water and water not intended for drinking—United States, 2005–2006. *MMWR Surveill Summ* 57(9):39–62 (2008); <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/ss5709a1.htm>.
2. Dorevitch S, et al. Health risks of limited-contact water recreation. *Environ Health Perspect* 120(2):192–197 (2012); <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1103934>.
3. Fong T-T, et al. Massive microbiological groundwater contamination associated with a waterborne outbreak in Lake Erie, South Bass Island, Ohio. *Environ Health Perspect* 115(6):856–864 (2007); <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.9430>.
4. Sauv e S, et al. Fecal coliforms, caffeine and carbamazepine in stormwater collection systems in a large urban area. *Chemosphere* 86(2):118–123 (2012); <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.09.033>.
5. Benotti MJ, Brownawell BJ. Microbial degradation of pharmaceuticals in estuarine and coastal seawater. *Environ Pollut* 157(3):994–1002 (2009); <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2008.10.009>.
6. EPA. Ambient Water Quality Criteria for Bacteria—1986. EPA-440/5-84-002. Washington, DC: Office of Water Regulations and Standards [Oficina de Agua], Criteria and Standards Division [División de Criterios y Normas], Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (1986). [Consultado el 7 de febrero de 2012]. Disponible en: [http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/upload/2009\\_04\\_13\\_beaches\\_1986crit.pdf](http://water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/upload/2009_04_13_beaches_1986crit.pdf).