



PCB NO OBSOLETOS

Un segundo vistazo a los subproductos de la fabricación de pigmentos*

* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 121, número 3, marzo 2013, páginas A86-A93.

Los bifenilos policlorados (PCB) se fabricaron comercialmente en Estados Unidos más o menos desde 1930 hasta 1979, cuando la Ley para el Control de las Sustancias Tóxicas (en inglés, TSCA) prohibió su producción debido a preocupaciones sobre su extrema persistencia en el medio ambiente, su capacidad de bioacumularse y sus efectos adversos sobre la salud humana. Se utilizaron PCB en numerosas aplicaciones industriales y de consumo, sobre todo como líquidos aislantes en transformadores y generadores eléctricos, pero también en otros productos entre los que se incluían balastos de lámparas fluorescentes, selladores para calafateo y papel copia sin carbón. Estas sustancias químicas, cuya fabricación está descontinuada actualmente, han recibido mucha atención por lo que a investigación y saneamiento del medio ambiente se refiere. Sin embargo, se siguen produciendo y liberando en el ambiente otros PCB menos conocidos, no como productos comerciales creados intencionalmente sino como subproductos, no intencionales, derivados de procesos de producción, incluyendo, según estudios recientes, los utilizados para fabricar ciertos pigmentos que se emplean en colorantes, tintas y pinturas.

Los PCB no ocurren naturalmente, y una vez que han sido liberados en el medio ambiente pueden durar décadas. Hasta hace poco, se creía que los PCB que estaban siendo detectados en el medio ambiente provenían por completo de fuentes “obsoletas”. Sin embargo, los avances en la tecnología analítica han permitido a los investigadores comprender mejor las fuentes de los PCB, los patrones de PCB individuales (o congéneres) que están siendo detectados en el medio ambiente, y el destino de los PCB en el medio ambiente, es decir, el modo en que se mueven entre el suelo, el sedimento, el agua y el aire. Estos avances también han permitido detectar congéneres individuales en niveles sumamente bajos, así como identificar muchas fuentes de PCB nuevas y en desarrollo, más allá de los PCB que resultan de las mezclas comerciales históricas.



Si bien grandes cantidades de PCB comercialmente producidas permanecen en el medio ambiente, un monitoreo realizado en varios sitios de América del Norte ha detectado concentraciones notables de congéneres de PCB que no forman parte de los productos de PCB comerciales actualmente prohibidos. Uno de esos congéneres, PCB 11, está surgiendo como un indicador de contaminación por PCB no obsoletos.

Se sabía de la presencia en tintas y colorantes de bifenilos policlorados (PCB) producidos de manera no intencional cuando la Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (EPA) anunció la regulación definitiva que prohibió la producción comercial de PCB en 1979. Algunos años más tarde se promulgó bajo la Ley para el Control de las Sustancias Tóxicas (TSCA) una regla que permitía exenciones para los PCB en procesos de fabricación controlados y como contaminantes no intencionales. Esta regla permitía concentraciones de PCB de hasta 50 ppm en ciertos productos como resultado de los procesos de fabricación.¹

Recientemente se han identificado en numerosos sitios –en aguas residuales, en sedimentos y en el aire– PCB surgidos como subproductos de la fabricación. También se los ha identificado positivamente en pruebas de productos nuevos coloreados con pigmentos que los contienen, de modo que es claro que estos PCB no ocurren como resultado de mezclas comerciales obsoletas. Lo que está surgiendo es un cuadro cada vez más complejo de la prevalencia de PCB no obsoletos junto con la persistente presencia de PCB obsoletos en el medio ambiente, así como un cuadro simultáneo, igualmente complejo, del modo en que los PCB pueden afectar a la salud humana a niveles de exposición sumamente bajos.

PCB: productos y subproductos

Se calcula que entre 1929 y 1989 se produjeron comercialmente 1.7 millones de toneladas métricas de PCB en el ámbito mundial.² Estos PCB comerciales se vendieron en Estados Unidos bajo docenas de marcas diferentes, de las cuales la más conocida fue Aroclor. Estos productos eran mezclas que contenían diversos congéneres de PCB, cada uno de los cuales contenía entre 1 y 10 átomos de cloro.³ (Los PCB producidos de manera no intencional también ocurren típicamente como mezclas de congéneres). Cada uno de los 209 congéneres de PCB tiene una estructura característica que influye en el modo en que se comporta en el medio ambiente y en que interactúa con las células y organismos vivos.

Si bien permanecen en el medio ambiente grandes cantidades de PCB producidos comercialmente, un monitoreo realizado en varios sitios en América del Norte en los últimos cinco años ha detectado en el aire concentraciones perceptibles de congéneres de PCB que no forman parte de los productos comerciales e históricos de PCB actualmente prohibidos. Estos congéneres también han sido detectados en los cuerpos de agua de Estados Unidos, incluyendo el río Delaware, el puerto de Nueva York–Nueva Jersey, el Canal

Naval de Houston y la Bahía de San Francisco. En el río Spokane, en el estado de Washington, estos PCB son actualmente responsables de las violaciones a las normas locales de calidad del agua.⁴

Uno de estos congéneres, el PCB 11, está surgiendo como un indicador de la contaminación por PCB no obsoletos. En un trabajo ambiental y científico detectivesco, los investigadores que detectaron el PCB 11 y otros congéneres en muestras de aire descubrieron que estos PCB correspondían con aquellos detectados anteriormente en el agua vertida de las fábricas de pinturas. Las pruebas de muestras de pintura han arrojado hasta 50 congéneres de PCB diferentes, incluyendo el PCB 11 que, según se sabe, se produce en la fabricación de los pigmentos amarillos diarílicos. El PCB no se asocia a los productos de PCB comerciales históricos ni a un producto de la descomposición o degradación de esas viejas mezclas comerciales.⁵ De modo que si se está encontrando PCB 11 en el medio ambiente, probablemente proviene de fuentes distintas de los PCB obsoletos.⁶

Se ha encontrado PCB 11 en muestras del sedimento de los Grandes Lagos⁷ y del aire de la región polar.⁸ El trabajo realizado por varios equipos de investigadores apunta a las pinturas y pigmentos como las fuentes probables del PCB 11 que se está detectando en el medio ambiente.⁷ Pero el PCB 11 está lejos de ser el único congénere hallado en las pruebas de pigmentos y de los productos en los que se utilizan éstos. Dichas pruebas han revelado PCB que van desde aquellos que contienen apenas unos cuantos átomos de cloro, como los PCB 1 a 11, hasta los congéneres con mayor contenido de cloro, como los PCB 206 a 209. Entre estos congéneres se incluyen varios que anteriormente habían sido identificados como de tipo dioxina.¹¹ Los PCB tipo dioxina tienen una estructura similar a la de las dibenzo-*p*-dioxinas y los diben-

zofuranos policlorados, sustancias químicas de las que se sabe que son persistentes en el medio ambiente y que tienen efectos adversos sobre la salud, incluyendo cáncer e impactos sobre el desarrollo, la reproducción y el sistema inmune. Desde el punto de vista biológico, estas sustancias comparten una capacidad de unirse a un receptor celular conocido como receptor de hidrocarburos de arilo, que regula la expresión de genes que influyen sobre múltiples funciones, incluyendo la producción de las enzimas y la regulación de las hormonas.

Las recientes pruebas realizadas en pigmentos de Japón por la Asociación Japonesa de Colorantes y Sustancias Químicas Industriales encontraron trazas de PCB en 57 de 98 pigmentos probados.^{9,10} Las pruebas de papeles de periódicos y revistas, embalajes de alimentos y bolsas de plástico de color o impresas con tintas y pigmentos asociados a los subproductos PCB también han confirmado la presencia de estos PCB, incluyendo el PCB 11.⁵

Los PCB detectados en muestras de pinturas y pigmentos y los detectados en productos acabados coloreados con esos pigmentos también se superponen con los identificados en las pruebas realizadas en 2012 en las aguas residuales de las instalaciones de reciclado de papel de la compañía Inland Empire Paper (IEP) situada en Spokane, según Doug Krapas, Gerente Ambiental de IEP. IEP logró establecer la conexión entre los PCB en sus aguas residuales y en las tintas del papel que recicla, constituido en gran parte por periódicos, revistas, materiales de correo y de embalaje. Históricamente los procesos de hacer papel han sido una fuente de compuestos de cloro de los que se sabe que tienen efectos adversos sobre la salud en los ecosistemas acuáticos, pero con el tiempo la IEP modificó sus procesos para eliminar el uso del cloro. También instaló sistemas de tratamiento secundarios y terciarios y

sistemas de ciclo cerrado para reducir el uso total de agua y los vertidos de agua y para reducir los contaminantes en sus aguas residuales en la medida en que fuera técnicamente posible. Cuando la compañía descubrió que a pesar de todas estas medidas los PCB que se estaban encontrando en sus aguas residuales excedían las normas locales, se dio cuenta de que algo en el papel que se reciclaba debía estar causando el problema.

Según Krapas, mientras las instalaciones de reciclado sigan procesando papel que contiene tinta con niveles permisibles de PCB derivados, habrá problemas para cumplir con las normas de calidad del agua. Los PCB de las tintas presentan un problema particular para la planta de IEP en Spokane, dados los bajos niveles de PCB que permiten las normas locales de calidad del agua: las normas locales de calidad del agua de la tribu Spokane limitan los PCB a 3.37 partes por cuatrillón (ppq).¹² Esta norma se basa en el consumo de pescado, es decir, en la cantidad de PCB que ingerirían las personas que coman pescado del río Spokane, pues el consumo de pescado local es la alimentación básica de la tribu.

Keri Hornbuckle, de la Universidad de Iowa, profesora de Ingeniería Civil y Ambiental, dice que antes de 2007 la mayoría del monitoreo ambiental para los PCB no estaba

diseñado para examinar muestras de todos los 209 congéneres de los PCB sino que se centraba exclusivamente en aquellos que eran producidos de manera intencional: las mezclas comerciales Aroclor. Esto significa que probablemente el monitoreo ambiental no estaba logrando detectar los PCB surgidos como subproductos no intencionales. La nueva tecnología de monitoreo utilizada por Hornbuckle y sus colegas a través de los fondos obtenidos del Programa de Investigación del Superfondo del Instituto Nacional de Ciencias de la Salud Ambiental –initialmente con el fin de monitorear el aire en Chicago, pero aplicada después en muchos otros lugares–, fueron los que trazaron por primera vez el perfil de la presencia en el medio ambiente de PCB generados de manera no intencional.

Hornbuckle y su colega Dingfei Hu, científico asistente en investigación en Hidrociencias e Ingeniería de la Universidad de Iowa, plantearon la hipótesis de que, dado que los congéneres de PCB que estaban detectando en las muestras de aire eran los mismos que habían sido detectados en las aguas residuales de las fábricas de pinturas, estos congéneres de PCB también podrían estar presentes en las pinturas comerciales. A fin de averiguar esto, los investigadores midieron los PCB en pigmentos de pinturas adquiridos en el mercado minorista de Estados Unidos en 2009.⁶ Su aná-

Antes de 2007 la mayoría de los monitoreos de PCB en el medio ambiente no estaban diseñados para tomar muestras para identificar todos los 209 congéneres de PCB sino que se centraba en aquellos que se producían intencionalmente. Esto significa que el monitoreo ambiental probablemente no estaba detectando los PCB que surgen como subproductos no intencionales.

lisis detectó más de 50 congéneres de PCB diferentes (incluyendo varios identificados anteriormente como de tipo dioxina en los pigmentos). Al parecer, los congéneres de PCB identificados variaban dependiendo de los tipos de pigmentos analizados y de los procesos de fabricación empleados en su producción. Si bien los PCB generados como subproductos varían según el tipo de pigmento, los procesos que dan como resultado estos PCB típicamente combinan cloro, sales e hidrocarburos o compuestos clorados de hidrocarburos a altas temperaturas.

Ánalisis ulteriores indican que ciertos PCB eran prevalentes en los pigmentos llamados azo, diarílicos y ftalocianina, que son los más comúnmente utilizados para dar color a las tintas, colorantes, pinturas, papel, textiles, plásticos, piel, cosméticos y alimentos, entre otros materiales y productos. Los pigmentos azo y diarílicos se utilizan principalmente para hacer amarillos, pero también para hacer algunos rojos y naranjas, mientras que los pigmentos de ftalocianina se utilizan sobre todo para hacer azules y verdes.

“El uso generalizado de estos pigmentos explica la presencia de PCB 11 en artículos comerciales comunes en la sociedad moderna, tales como periódicos, revistas y cajas de cartón”, escribieron Hu y Hornbuckle. “Si bien no sabemos si los PCB involuntarios tienen efectos adversos sobre la salud humana, hay muchas rutas potenciales de exposición humana a estos PCB a través de la inhalación, la exposición dérmica y la ingestión, debido a sus características físico-químicas de semivolatilidad, hidrofobicidad y persistencia”. También señalan que, hasta donde tienen conocimiento, los “pigmentos o colorantes son la única fuente significativa de PCB 11”, y por ende la detección de PCB 11 en el aire “debe ser asociada con la actividad humana que utiliza pigmentos o colorantes”.⁶

En un estudio publicado posteriormente, Hu y Hornbuckle señalaron que el patrón de PCB detectado en los pigmentos de pinturas comerciales probados no guardaba relación con el de la producción comercial de PCB e incluía “muchos congéneres que son altamente bioacumulativos, de tipo dioxina o probables carcinógenos”.⁷ Citaron la producción y el uso de pinturas como el origen probable de estos PCB en América del Norte. Su investigación, centrada en el sedimento de los Grandes Lagos, parecía confirmar la presencia en el medio ambiente de la fabricación de PCB derivados no asociados con mezclas comerciales históricas. Sin embargo, señalan que, debido a que su estudio de los sedimentos no les permitió identificar las fuentes de los congéneres de PCB que parecen ser comunes a las mezclas comerciales obsoletas Aroclor y a los subproductos de los pigmentos, deja sin responder algunas preguntas importantes sobre los congéneres de PCB tipo dioxina hallados en estas muestras, los cuales tienen múltiples orígenes potenciales.

La investigación realizada por Lisa Rodenburg, profesora adjunta de Ciencias Ambientales de la Universidad Rutgers, en la cual probó directamente productos impresos o coloreados con pigmentos asociados a los PCB derivados, establece más vínculos entre los pigmentos y los PCB en el medio ambiente.^{5,13} Entre los productos impresos probados por Rodenburg se hallaban periódicos a color, papeles brillantes de revistas, bolsas de plástico y cajas de cereales y de otros alimentos. Los PCB identificados por ella en estas muestras de papel y plástico impresos, sobre todo los de color amarillo, eran los mismos congéneres no obsoletos encontrados en las muestras ambientales y en pigmentos de pinturas por Hu y Hornbuckle. También correspondían con los PCB medidos en las aguas residuales de

las instalaciones de reciclaje de la IEP en Spokane.

Además de los pigmentos orgánicos, las investigaciones de Rodenburg indican que ciertos procesos de fabricación de dióxido de titanio pueden producir también subproductos de PCB.¹³ Si bien Hu y Hornbuckle no encontraron PCB en sus pruebas de pigmentos inorgánicos, incluyendo aquellos que contienen dióxido de titanio, la fabricación de dióxido de titanio ha sido citada como fuente de PCB derivados por el Departamento de Calidad Ambiental de Michigan,¹⁴ la Academia de Ciencias de Nueva York,¹⁵ y el Gobierno australiano,¹⁶ entre otros.

La investigación de Hu y Hornbuckle sugirió varias maneras posibles en las que se generan PCB derivados durante la fabricación. Los azules y verdes de ftalocianina analizados hasta la fecha han tendido a contener congéneres de PCB altamente clorados (aquellos que contienen más cloros) que los amarillos diarílicos probados. Según la descripción de Hu y Hornbuckle, en el proceso que suele utilizarse para producir estos azules y verdes interviene el anhídrido ftálico, la urea o el ftalonitrilo y un cobre o una sal de cobre que se procesan utilizando un solvente organoclorado como el di- o triclorobenceno.⁶ Como se señaló arriba, la combinación de hidrocarburos clorados y sales procesadas a determinadas temperaturas altas es lo que conduce a la creación de PCB.

Hornbuckle también explica que los productos de PCB altamente clorados en los pigmentos azules y verdes tienen un comportamiento distinto del de los subproductos más ligeros y menos clorados que se encuentran en los pigmentos amarillos. Entre más ligeras y menos cloradas sean las sustancias químicas, serán más volátiles y por ende más móviles en el aire, y es de esperarse que se desprendan de las pinturas y tintas pigmentadas con mayor facilidad que las sustancias

químicas más pesadas y más cloradas. Los subproductos de los pigmentos azules y verdes tienden a quedarse en las pinturas cuando éstas se desechan, lo que permite que los PCB derivados se transfieran al suelo si estas pinturas se utilizan en exteriores, por ejemplo, en las fachadas de los edificios.

Según la investigación realizada por Gregory Cavallo, geólogo de la Comisión de la Cuenca del Río Delaware, junto con Rodenburg y otros colegas de la Universidad de Rutgers, alrededor del 65% de todos los pigmentos orgánicos producidos van a dar a las tintas de impresión (no a los colorantes, pinturas y otros productos de color). Se estima que una cuarta parte de la producción mundial de pigmentos orgánicos de 2006, que fue de 250 millones de toneladas métricas, correspondió a pigmentos amarillos diariídicos. Un análisis de las tintas de impresión indica que la típica tinta de impresión contiene un 40% de pigmento. Por ende, Cavallo *et al.* estiman que la producción mundial de PCB 11 a través de la fabricación de amarillos diariídicos fue de aproximadamente 1.5 toneladas métricas en el año 2006.⁵

¿Importa la exposición a estos PCB?

La estabilidad química de los PCB, que los hizo tan útiles como productos industriales, también hace

Si no es posible desarrollar procesos alternativos, el sacar a los pigmentos relevantes del mercado podría poner en riesgo la mayor parte de las impresiones a color, la gran mayoría de las pinturas amarillas, azules y verdes (junto con muchas fórmulas de plásticos) y gran cantidad de pigmentos rojos que se utilizan principalmente en pinturas, plásticos y tintas especializadas. También podría colocar a la industria de Estados Unidos en desventaja frente a la competencia internacional.



que sean persistentes en el medio ambiente y les confiere propiedades que plantean riesgos potencialmente graves para la salud. Los PCB no sólo se biodegradan lentamente sino que son lipofílicos (es decir, solubles en la grasa), por lo que se pueden bioacumular y ascender por la cadena alimentaria. Ciertos PCB han sido identificados como carcinógenos.¹⁷

También se han identificado los PCB como disruptores endocrinos, y se ha demostrado que tienen efectos adversos sobre el sistema endocrino, en particular sobre la función hormonal de la tiroides. Se los asocia asimismo con problemas de piel y de ojos, toxicidad del hígado y efectos adversos en los sistemas inmune, nervioso y reproductivo, así como en la presión arterial y en los niveles de

colesterol en la sangre. La exposición a los PCB durante el período prenatal y en la niñez ha sido asociada con problemas cognitivos y del comportamiento. Entre los efectos de los PCB sobre la salud que se investigan actualmente están sus impactos en las funciones cerebrales que controlan el comportamiento, el lenguaje, el aprendizaje y la memoria.¹⁷

Se ha reconocido que algunos congéneres de PCB no de tipo dioxina tienen lo que R. Thomas Zoeller, profesor de Biología de la Universidad de Massachusetts, llama efectos "potentes" sobre los sistemas corporales regulados por la tiroides a niveles muy bajos de exposición, medidos en microgramos por kilogramo o en partes por cada mil millones. Las hormonas de la tiroides intervienen en la regulación de varios sistemas vitales del cuerpo, incluyendo el metabolismo y el desarrollo, y son esenciales para el funcionamiento saludable de los sistemas cardiovascular y nervioso. Si los PCB pueden interferir con las hormonas de la tiroides, "nadie puede concluir que los PCB son seguros", señala Zoeller.

Larry Robertson, profesor de Salud Ambiental Ocupacional de la Universidad de Iowa, explica que, puesto que típicamente los PCB ocurren como mezclas de congéneres, es importante



Los subproductos más pesados de los PCB en los pigmentos azules y verdes tienen un comportamiento distinto del de los subproductos más ligeros presentes en los pigmentos amarillos. Los compuestos más ligeros son más volátiles y es de esperarse que se desprendan de las pinturas y tintas pigmentadas, mientras que los subproductos de PCB más pesados de los pigmentos azules y verdes permanecen en las pinturas cuando éstas se desechan.

señalar que los efectos sobre la salud de un congénere individual no deben excluirse cuando se considera la toxicidad de los PCB, aun cuando ese congénere no sea dominante en una muestra o mezcla en particular. "El contexto lo es todo", dice en relación con los efectos sobre la salud.

El hecho de que los PCB tengan efectos disruptores del sistema endocrino es importante para comprender los niveles de exposición que pueden afectar a la salud humana; se reconoce que esas sustancias químicas pueden ser biológicamente activas en niveles extremadamente bajos.¹⁸ También se reconoce que el tiempo de exposición a los disruptores endocrinos es importante, dado que la exposición en una etapa de la vida puede suscitar efectos diferentes de los de la exposición en otra etapa. El principio de la vida, incluyendo el desarrollo prenatal, es un periodo en el que muchos sistemas corporales son particularmente vulnerables a los efectos de los disruptores endocrinos.¹⁹

Zoeller dice que se ha considerado que los niveles de hormonas tiroideas a la edad de dos años tienen una correlación con el coeficiente intelectual en la edad adulta, y que las exposiciones a los PCB en las primeras etapas de la vida han sido asociadas a niveles reducidos de coeficiente intelectual y discapacidad cognitiva en los niños.²⁰ También señala que algunos estudios han demostrado que los metabolitos de los PCB 105 y PCB 118 están relacionados específicamente con la función cognitiva en los animales.^{21,22} Asimismo, la investigación realizada por Isaak Pessah, presidente de Biociencias Moleculares de la Escuela de Medicina Veterinaria de la Universidad de California en Davis, ha demostrado que la formación de la red neural se vio adversamente afectada en ratas expuestas al PCB 95 durante el periodo prenatal.^{23,24}

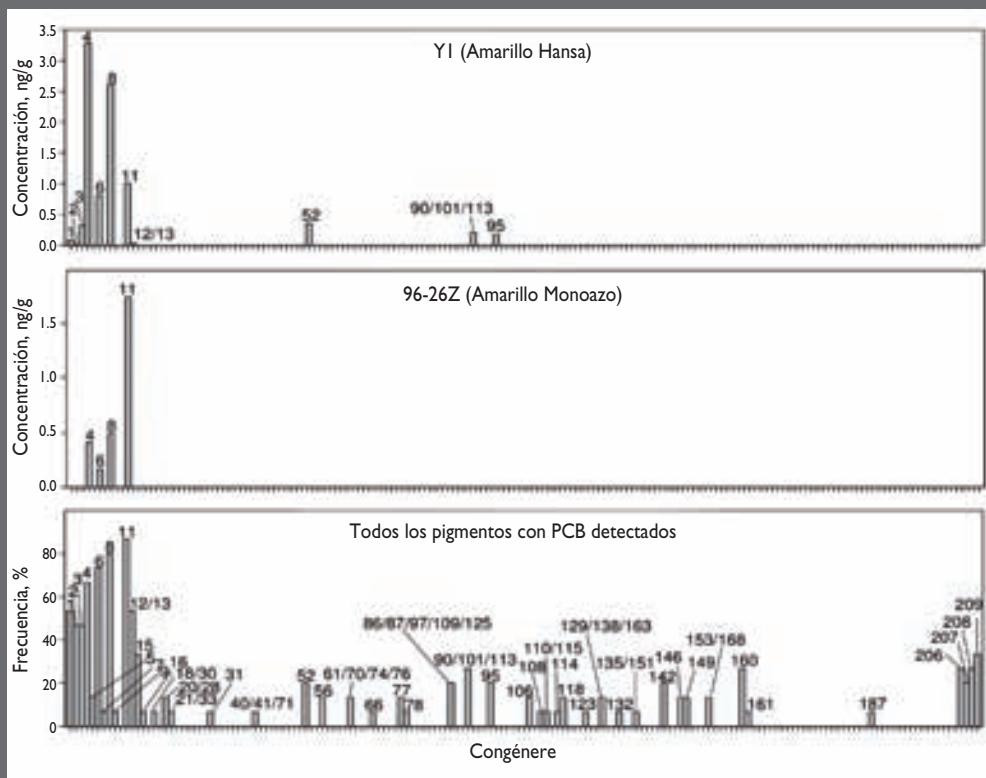
La tarea de intentar evaluar los 209 congéneres de PCB y sus metabo-

litos es enorme, dice Pessah; por este motivo, él y sus colegas decidieron buscar ciertos objetivos celulares que parecen ser extremadamente sensibles a los PCB. "Encontramos que el más potente era el activado por el PCB 95", señala. Este congénere ha sido hallado en el sedimento y en tejidos de peces y de seres humanos, incluyendo el tejido cerebral de niños. Pessah afirma que el receptor celular con el que interacciona el PCB 95 –el receptor de rianodina– es similar al receptor de hidrocarburos arálicos a los cuales se sabe que se unen los PCB tipo dioxina. Si un PCB o una dioxina se une al receptor de rianodina, puede provocar la producción de ciertas proteínas que pueden interferir con el crecimiento y la diferenciación de células normales, explica. La interacción del PCB 95 con el receptor de rianodina, que, según se sabe, desempeña un papel crítico en la regulación del movimiento del calcio por todo el cuerpo,^{23,24,25} podría ser muy importante, puesto que el calcio es clave para el funcionamiento saludable de las neuronas.

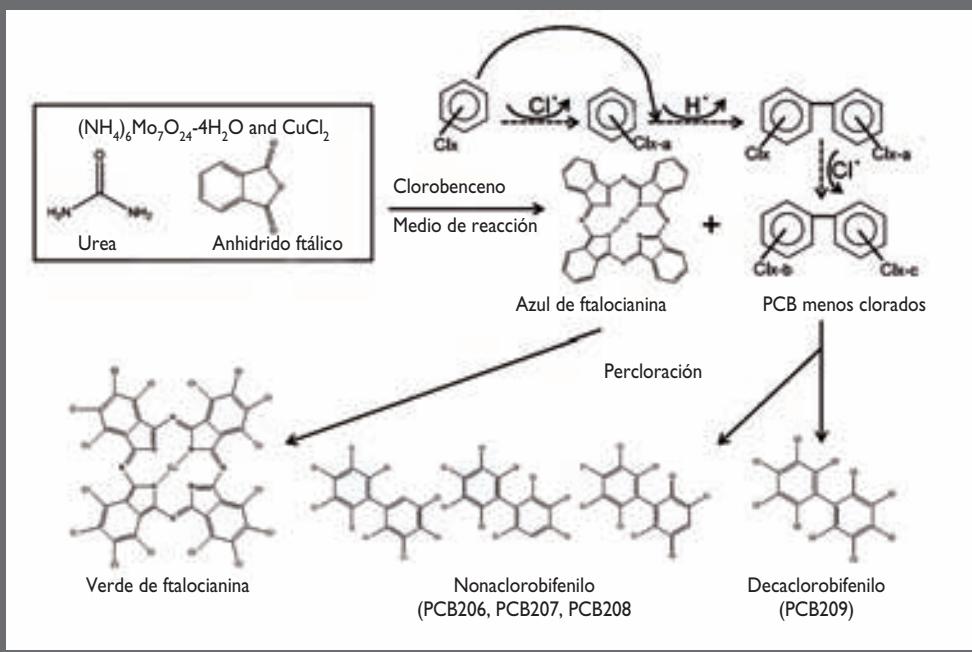
"El cerebro está muy organizado", dice Zoeller, lo cual es una característica integral de su funcionamiento. A juzgar por los experimentos de Pessah con animales, la exposición prenatal al PCB 95 puede interferir con esta organización y afectar la percepción auditiva del cerebro, una función que es vital para el habla y las capacidades lingüísticas. Curiosamente, no hubo señales manifiestas de que hubiera nada de malo en los animales expuestos, dice Pessah: no dejaron de desarrollarse, y seguían siendo capaces de oír, pero su capacidad de interpretar los sonidos sí se vio afectada. Estos efectos tienen implicaciones potencialmente profundas para la toxicología de los PCB, dado que pueden querer decir que un nivel de exposición que por lo demás no parece ser "tóxico" podría no obstante cambiar el curso del desarrollo neural.

Otro estudio reciente pero de un tipo muy distinto –un estudio epidemiológico que examina la relación entre la exposición a sustancias químicas del medio ambiente y la fertilidad en las parejas– ha encontrado una asociación entre la exposición a ciertos congéneres de los PCB (entre ellos los PCB 118, 138, 167 y 209) y la reducción de las probabilidades de embarazo dentro de cierto periodo.²⁶ Germaine Buck Louis, autora del estudio y directora e investigadora principal de la División de Epidemiología e Investigación para la Prevención del Instituto Eunice Kennedy Shriver de Salud Infantil y Desarrollo Humano, advierte que "no podemos decir si hay allí algo de causal". Pero señala que éstas son "señales importantes que están siendo recogidas", en particular porque este estudio indica una asociación entre la exposición a sustancias químicas del medio ambiente tanto en hombres como en mujeres y una demora en el tiempo para alcanzar la concepción exitosa y el embarazo.

Además de los efectos de los propios PCB sobre la salud, hay evidencias de que algunos PCB pueden descomponerse, una vez que están en el cuerpo, en otros compuestos que pueden tener ciertos efectos en la salud. Algunos de ellos son los metabolitos hidroxilados de los PCB (OH-PCB), algunos de los cuales tienen estructuras similares a la de la hormona tiroidea, y los sulfatos de PCB, que pueden ser asimismo disruptores endocrinos. Robertson afirma que puede haber hasta 15 ó 20 metabolitos diferentes de un solo compuesto madre de PCB, dependiendo de cómo se metabolice ese compuesto. Lo que parece estar surgiendo del creciente cuerpo de investigaciones sobre los efectos de los PCB sobre la salud es un cuadro cada vez más complejo de las formas en que diversos congéneres de PCB y sus metabolitos pueden afectar a la salud humana: efectos potenciales que van



En un estudio de 33 pigmentos para pinturas disponibles en el mercado,⁶ Hu y Hornbuckle describieron los perfiles de PCB de dos pigmentos amarillos específicos, así como la frecuencia de detección de los congéneres en 15 muestras en las que se detectaron PCB (arriba). Los autores también propusieron mecanismos potenciales para la formación de PCB durante la fabricación de pigmentos de ftalocianina (abajo). Como se muestra, el verde de ftalocianina se deriva del azul de ftalocianina mediante la cloración.



Fuente: referencia 6

mucho más allá de los producidos por los PCB tipo dioxina y carcinogénicos que hasta la fecha han recibido la mayor parte de la atención en materia de investigación y saneamiento.

Consideraciones normativas

Los PCB derivados se han convertido en objeto de preocupación por los gobiernos estatales que trabajan para satisfacer las normas de calidad del agua y consumo de pescado relativas a los PCB, algunas de las cuales son mucho más estrictas que las establecidas por la EPA. Por ejemplo, como lo señalamos antes, las normas de calidad del agua de la tribu Spokane para los PCB, basada en el consumo de pescado en Washington, es 95% más baja que la establecida por la EPA. El gobierno federal ha fijado 170 ppq como límite, pero la tribu Spokane ha establecido una norma de 3.37 ppq, que refleja el elevado consumo de pescado de esa población local.¹² Si bien los gobiernos estatal y local han estado trabajando para hacer frente a los problemas derivados de los PCB obsoletos, la cuestión de los PCB no obsoletos ha surgido a medida que el reciclaje del papel se ha incrementado en el ámbito nacional y ha comenzado a ser reconocido como una fuente continua de PCB. En su reunión del verano de 2012, el Consejo Ambiental de los Estados (en inglés, ECOS), una asociación de directivos de las agencias ambientales estatales, aprobó una resolución de instar a la EPA a trabajar junto con la industria y los estados para desarrollar procesos y productos de pigmentos y tintas más limpios.²⁷

Como lo ilustra el caso de las instalaciones de reciclaje del IEP, cuya única fuente de residuos clorados es el papel que recicla, las cantidades de PCB permisibles en los pigmentos para las tintas de impresión puede imposibilitar que las instalaciones cumplan con las normas locales de calidad del agua para los PCB, aun con los procedimientos más avanzados

de tratamiento del agua.^{4,12,28,29} Mientras el IEP continúe aceptando papel impreso con tintas que contengan PCB, se seguirán encontrando estos compuestos en su torrente residual. ECOS quisiera que estos contaminantes se controlen en las etapas iniciales, en el origen del producto y del proceso, en vez de que dicho control sea responsabilidad exclusiva de las instalaciones al final del ciclo de vida del producto.

Este es un problema del cual la EPA está muy consciente. En abril de 2010 la agencia publicó un aviso de que tiene la intención de reevaluar sus regulaciones en materia de PCB.³⁰ Entre sus propuestas se encuentra una revisión de la definición actual de un "proceso de fabricación excluido" que permite ciertos PCB derivados en proporciones de hasta 50 ppm. La regla cuya revisión se propone eliminaría el límite a la concentración anual promedio de PCB permitida y reduciría a 1 ppm la máxima concentración de PCB permitida en los productos fabricados en el país o importados. Este proceso general de elaboración de normas se inició en 2009 y en la actualidad no se prevé que se complete antes del 2014. Cuando en diciembre de 2012 se le pidieron detalles a una vocera de la EPA, ésta no proporcionó detalle alguno, pero dijo que la agencia "[sigue] considerando comentarios y trabajando en la norma".

En una carta de 2010 a la EPA, enviada como parte de la agenda de elaboración de normas, la Asociación de Fabricantes de Pigmentos de Color (en inglés, CPMA), una asociación comercial que representa a compañías en Estados Unidos, Canadá y México, señaló que los procesos de fabricación para la producción de pigmentos diafrílicos y de ftalocianina y de ciertos pigmentos monoazo recibirían un impacto negativo si se prohibiera la utilización de los PCB derivados en esos productos. La CPMA dijo que no es técnicamente factible alterar los

procesos de fabricación para eliminar los PCB derivados ni reducirlos al nivel propuesto de 1 ppm, y tampoco es posible realizar pruebas a ese nivel.³¹

La asociación industrial también dijo que el sacar del mercado estos pigmentos pondría en riesgo la mayoría de las impresiones a color, la gran mayoría de las pinturas amarilla, azul y verde y muchas fórmulas plásticas, así como una gran cantidad de pigmentos rojos que se utilizan principalmente en pinturas, plásticos y tintas especializadas.³¹ Además, la asociación argumentó que, si se cumpliera con el nivel propuesto de 1 ppm, la industria de Estados Unidos quedaría en desventaja frente a la competencia internacional, comentario que la EPA ha observado en las respuestas a las consultas sobre la elaboración de normas.^{32,33}

Ni la CPMA ni las compañías que utilizan pigmentos en tintas, colorantes o pinturas a las que se consultó para este artículo quisieron discutir directamente sus procesos de fabricación ni proporcionar detalles sobre el motivo por el que el cambiar los procesos actuales les representa tantos retos. Sin embargo, John Warner, presidente y jefe de tecnología del Instituto Warner Babcock de Química Verde en Wilmington, Massachusetts, quien posee más de 30 patentes químicas, explica que un pigmento debe ser persistente para que pueda tener éxito comercial. Asimismo, debe ser estable en la luz y, dependiendo de su aplicación, estable también en el agua. Dependiendo igualmente de su aplicación, puede ser necesario que el pigmento sea compatible con adhesivos o tenga él mismo propiedades adhesivas. Esto explica, dice Warner, por qué los pigmentos comerciales se fabrican con procesos que producen asimismo subproductos que son persistentes en el medio ambiente.

En sus comentarios a la EPA, la CPMA también señaló que los pigmentos que contienen subproductos de PCB no son tóxicos ni bioacumulativos.

lativos.³¹ En un informe de situación con fecha de enero de 2011 sobre esta cuestión, la Asociación Ecológica y Toxicológica de Fabricantes de Colorantes y Pigmentos Orgánicos (en inglés, ETAD), asociación comercial con sede en Suiza, escribió que los niveles de trazas de PCB derivados en los pigmentos no representan un riesgo para la salud humana. ETAD dijo que los pigmentos se incorporan en los productos de tal manera que es poco probable que ocurra una exposición humana o ambiental a estos PCB, y que la liberación de cualquier PCB es "improbable, hasta que la matriz polimérica y los pigmentos se degraden". La ETAD añadió que es probable que los PCB de las aguas residuales se capturen mediante la filtración, si bien no tiene datos que apoyen esta especulación. También dijo en el mismo documento que no hay información que vincule el PCB 11 con los pigmentos.³⁴

Cuando se le pidió a Robertson que comentara estas aseveraciones, dijo que los PCB "no se degradan ni siquiera si las matrices en las que pueden estar aplicadas lo hacen". También señaló que los PCB pueden ser liberados de los colorantes y pigmentos y convertirse en un importante motivo de preocupación en las aguas residuales de las ciudades,

como lo demuestra la investigación de Rodenburg. Decir que los PCB "están atrapados y no abandonan la matriz, es claramente una falsedad", dice.

Como parte de sus comentarios a la EPA sobre la revisión propuesta de los niveles permisibles de PCB derivados, la CPMA presentó un estudio realizado en 1987 por investigadores afiliados a la ETAD y a la industria química Ciba-Geigy, que tiene una larga historia de fabricación de colorantes. El estudio examinaba la relativa solubilidad de varios colorantes orgánicos en agua y en octanol, y concluía que, dado que los pigmentos orgánicos no se disuelven fácilmente en estos medios y tienen moléculas grandes, no es probable que sean absorbidos por los peces y por ende no es necesario evaluar su bioacumulación en los peces.³⁵ Sin embargo, Robertson señala que los colorantes probados en el estudio pueden contener múltiples grupos químicos funcionales que permiten la degradación por microbios y otros organismos. Esto, dice, podría significar que una vez que los colorantes se disuelven en un ambiente acuático, podrían predominar los productos de su descomposición. Señala asimismo que los PCB no se biodegradan con facilidad en el agua, de modo que si están presentes en pigmentos o colo-

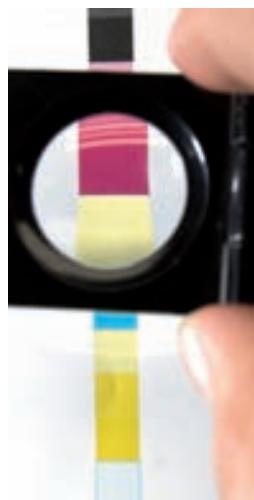
rantes liberados en el agua, podrían persistir después de que el resto del compuesto se descomponga.

También es importante entender que la presencia de PCB derivados en el medio ambiente es el motivo por el que los distintos métodos de evaluación y monitoreo ambiental detectarán diversos congéneres de los PCB. Algunos métodos son más sensibles que otros y están diseñados para detectar e identificar con mayor precisión los congéneres de PCB individuales.³⁶ Según Krapas, Gerente Ambiental del IEP, los métodos de prueba aprobados por la EPA para fines normativos no son los más sofisticados que existen. Esto significa que si simplemente se realizan aquellas pruebas de monitoreo de PCB que se utilizan actualmente para cumplir con las normas de la EPA, algunos congéneres, incluyendo los que se encuentran en las tintas y pigmentos, podrían no ser detectados.

El panorama hasta ahora

Lo que sabemos hasta la fecha es que se crea una gama de congéneres de PCB como subproductos en el proceso actual de fabricación de ciertos pigmentos. Algunos de estos congéneres de PCB están siendo hallados en el medio ambiente, en el aire, en el agua y en muestras de sedimentos. Se han encontrado estos PCB en las pruebas realizadas en productos pigmentados, papeles impresos, plásticos y pinturas. También se los ha encontrado en las aguas residuales del reciclaje de papel impreso con esos pigmentos.

También se sabe que el nivel de PCB derivados permitido actualmente por las leyes de Estados Unidos excede las normas de otras entidades para los PCB en ciertos cuerpos de agua y en los peces. En algunos sitios, estas normas no pueden cumplir con la tecnología de tratamiento del agua con que se cuenta en la actualidad mientras el torrente de las aguas



Los distintos métodos de monitoreo y prueba del medio ambiente detectan diversos congéneres de los PCB. Algunos métodos son más sensibles que otros y están diseñados para detectar e identificar con mayor precisión los congéneres individuales de PCB. Si se realizan exclusivamente aquellas pruebas que se emplean en la actualidad para cumplir con las normas de la EPA, algunos congéneres, incluyendo los que se encuentran en productos tales como tintas y pigmentos, podrían no ser detectados.

residuales incluya nuevas fuentes de PCB en los niveles en que se los encuentra en productos como pinturas, tintas y pigmentos.

Investigaciones recientes han presentado cada vez más evidencias de que ciertos congéneres de PCB cuyos efectos adversos sobre la salud no han sido estudiados, tienen al parecer efectos disruptores endocrinos o la capacidad de interferir con la función de los receptores celulares que desempeñan un papel fundamental en la regulación del desarrollo y el funcionamiento de las neuronas. También hay evidencias que sugieren que debe examinarse el potencial de los PCB de afectar a la fertilidad. Algunos congéneres de PCB asociados a estos efectos figuran también en la lista de los congéneres identificados en productos pigmentados y detectados en el medio ambiente.

Si bien se han realizado esfuerzos para eliminar los metales pesados y los compuestos orgánicos volátiles de diversos productos pigmentados (por ejemplo, pinturas), los expertos en sustentabilidad ambiental y de materiales dicen que hasta ahora se ha prestado poca atención al problema de los PCB derivados. No es posible explorar si es factible alterar los procesos de producción de pigmentos que den como resultado PCB derivados sin la cooperación de los fabricantes. Múltiples contactos con la industria arrojaron poca información más allá del hecho de que los productos pigmentados y teñidos tienen cadenas de suministro complejas que varían según el producto específico. Los consultores en el manejo de sustancias químicas y el medio ambiente describieron los pigmentos como una categoría de productos difícil de evaluar debido a la naturaleza altamente exclusiva de las fórmulas de los productos.

El Programa de Diseño para el Medio Ambiente de la EPA, que realiza evaluaciones alternativas de diversos productos químicos, no está partici-

pando por el momento en ninguna investigación sobre pigmentos. Una de las recomendaciones propuestas en la resolución de ECOS es que la EPA inicie esa investigación.²⁷ Mientras que se siguen elaborando normas para la reevaluación por la EPA de las normas actuales sobre los PCB, una vocera de la EPA se abstuvo de proporcionar información sobre la situación de la evaluación continua por la agencia de los efectos sobre la salud de los PCB que no son de tipo dioxina.

Pese a que se siguen formulando preguntas sobre los efectos potenciales sobre la salud humana de los congéneres de PCB asociados a los subproductos de los procesos de fabricación, la presencia de estos compuestos en diversos sitios en toda América del Norte es preocupante, dado lo que se sabe de los PCB en general y dado que, como señala ECOS, el pescado contaminado con PCB sigue siendo una de las principales fuentes de exposición de los seres humanos a estas sustancias químicas, y que 40 estados emitieron 1 084 advertencias sobre el consumo de pescado en el año 2010.³⁷ Una de las preguntas que quedan por contestar es de qué modo puede actuar la exposición a estos PCB en combinación con la exposición a PCB obsoletos y a otras sustancias químicas con un potencial similar de actividad disruptora del sistema endocrino.

Al mismo tiempo, está surgiendo un creciente corpus de investigación científica que sugiere que la exposición a niveles bajos de algunos de estos PCB puede tener efectos potencialmente profundos sobre mecanismos biológicos vitales para el desarrollo saludable. Lo que se está aprendiendo sobre los efectos potenciales sobre la salud de los PCB menos estudiados, dice Zoeller, podría arrojar información importante sobre el papel que podrían desempeñar estas sustancias químicas en aquellas enfermedades crónicas que son cada vez más prevalentes.

Elizabeth Grossman, escritora de temas científicos y ambientales radicada en Portland, Oregon, ha publicado artículos en *Environmental Health News*, *Yale Environment 360*, *Scientific American*, *The Washington Post* y otras publicaciones. Entre sus libros se incluyen *Chasing Molecules* y *High Tech Trash*.

Referencias y notas

1. EPA. Appendix A. Economic Analysis for the Final Rule to Exclude Closed and Controlled Processes from the PCB Ban Rule. EPA Publication PB83-159731. Washington, DC: U.S. Environmental Protection [Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos] (septiembre de 1982). Disponible en: <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPURL.cgi?Dockey=9100B9O9.txt> [consultado el 12 de febrero de 2013].
2. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. PCBs Overview [página web]. Châtelaine, Suiza: Secretariado de la Convención de Estocolmo (2008). Disponible en: <http://chm.pops.int/Implementation/PCBs/Overview/tabid/273/Default.aspx> [consultado el 12 de febrero de 2013].
3. EPA. Table of PCB Species by Congener Number. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency [Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos] (revisada en noviembre de 2003). Disponible en: <http://www.epa.gov/epawaste/hazard/tsd/pcbs/pubs/congenertable.pdf> [consultado el 12 de febrero de 2013].
4. State of Washington. Water Quality Improvement Project: Spokane River Area: PCBs [página web]. Spokane, WA: Región del Este, Departamento de Ecología, Estado de Washington (actualizada en diciembre de 2012). Disponible en: <http://www.ecy.wa.gov/programs/wq/tmdl/spokaneriver/SpokPCBTMDL.html> [consultado el 12 de febrero de 2013].
5. Rodenburg LA. Evidence for unique and ubiquitous environmental sources of 3,3'-dichlorobiphenyl (PCB 111). *Environ Sci Technol* 44(8):2816-2821 (2009). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/es901155h>.
6. Hu D, Hornbuckle KC. Inadvertent polychlorinated biphenyls in commercial paint pigments. *Environ Sci Technol* 44(8):2822-2827 (2009). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/es902413k>.
7. Hu D, et al. Sedimentary records of non-Aroclor and Aroclor PCB mixtures in the Great Lakes. *J Great Lakes Res* 37(2):359-364 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2011.03.001>.
8. Choi SD, et al. Passive air sampling of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides at the Korean Arctic and Antarctic research stations: implications for long-range

- transport and local pollution. *Environ Sci Technol* 42(19):7125-7131 (2008). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1021/es801004p>.
9. Los pigmentos orgánicos se basan en la química de los hidrocarburos, contrariamente a los pigmentos inorgánicos, que se basan en compuestos metálicos.
10. METI. *Summarized Results of the Second Investigation into the Presence of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) as By-Products in Organic Pigments* [comunicado de prensa]. Tokyo, Japón: Ministerio japonés de Economía, Comercio e Industria (30 de agosto de 2012). Disponible en: http://www.meti.go.jp/english/press/2012/0830_01.html [consultado el 12 de febrero de 2013].
11. Henry TR, DeVito MJ. Non-Dioxin-Like PCBs: Effects and Consideration in Ecological Risk Assessment. Cincinnati, OH: Centro de Apoyo de Evaluación de Riesgos Ecológicos, Oficina de Investigación y Desarrollo, Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (junio de 2003). Disponible en: <http://www.epa.gov/oswer/riskassessment/pdf/1340-erasc-003.pdf> [consultado el 12 de febrero de 2013].
12. Estado de Washington. Spokane River PCB Source Assessment 2003-2007. Lacey, WA: Departamento de Ecología, Estado de Washington (mayo de 2011). Disponible en: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/summarypages/1103013.html> [consultado el 12 de febrero de 2013].
13. Rodenburg L. Inadvertent PCB production and its impact on water quality [presentación para mesa redonda]. Reunión anual de ECOS, Colorado Springs, CO, 28 de agosto de 2012. Disponible en: <http://srrtf.org/wp-content/uploads/2012/08/Lisa-Rodenburg-Slideshow.pdf> [consultado el 12 de febrero de 2013].
14. Michigan Department of Environmental Quality. Total Maximum Daily Load for Polychlorinated Biphenyls for the Pere Marquette River Watershed Including Pere Marquette Lake, Lake, Mason, Oceana, and Newaygo Counties. Lansing, MI: Oficina del Agua, Departamento de Calidad del Medio Ambiente de Michigan (julio de 2008). Disponible en: http://www.michigan.gov/documents/deq/wb-swas-tmdl-peremarqwtshd_248252_7.pdf [consultado el 12 de febrero de 2013].
15. New York Academy of Sciences. Optimizing Contaminant Trackdown: Focusing on Wastewater Treatment Plants and Related Systems. Nueva York, NY: Academia de Ciencias de Nueva York (diciembre de 2007).
16. COAG Standing Council on Environment and Water. Dioxins and Dioxin-Like Compounds in Soil [memorandum técnico]. Canberra, Australia: Consejo Permanente sobre el Medio Ambiente y el Agua del Consejo de Gobiernos Australianos. Disponible en: <http://goo.gl/vVEpq> [consultado el 12 de febrero de 2013].
17. EPA. Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Health Effects of PCBs [página web]. Washington, DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (actualizada el 31 de enero de 2013). Disponible en: <http://www.epa.gov/osw/hazard/tsd/pcbs/pubs/effects.htm> [consultado el 12 de febrero de 2013].
18. Vandenberg LN, et al. Hormones and endocrine-disrupting chemicals: low-dose effects and nonmonotonic dose responses. *Endocr Rev* 33(3):378-455 (2012). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1210/er.2011-1050>.
19. Diamanti-Kandarakis E, et al. Endocrine-disrupting chemicals: an Endocrine Society scientific statement. *Endocr Rev* 30(4):293-342 (2009). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1210/er.2009-0002>.
20. Stewart PW, et al. The relationship between prenatal PCB exposure and intelligence (IQ) in 9-year-old children. *Environ Health Perspect* 116(10):1416-1422 (2008). Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2569105/>.
21. Giera S, et al. Individual polychlorinated biphenyl (PCB) congeners produce tissue- and gene-specific effects on thyroid hormone signaling during development. *Endocrinology* 152(7):2909-2919 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1210/en.2010-1490>.
22. Gauger KJ, et al. Polychlorinated biphenyls 105 and 118 form thyroid hormone receptor agonists after cytochrome P4501A1 activation in rat pituitary GH3 cells. *Environ Health Perspect* 115(11):1623-1630 (2007). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.10328>.
23. Wayman GA, et al. PCB-95 Promotes Dendritic Growth via Ryanodine Receptor-Dependent Mechanisms. *Environ Health Perspect* 120(7):997-1002 (2012). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1104832>.
24. Wayman GA, et al. PCB-95 modulates the calcium-dependent signaling pathway responsible for activity-dependent dendritic growth. *Environ Health Perspect* 120(7):1003-1009 (2012). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1104833>.
25. Pessah IN, et al. Minding the calcium store: ryanodine receptor activation as a convergent mechanism of PCB toxicity. *Pharmacol Ther* 125(2):260-285 (2010). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pharmthera.2009.10.009>.
26. Buck Louis GM, et al. Persistent environmental pollutants and couple fecundity: the LIFE Study. *Environ Health Perspect* 121(2):231-236 (2013). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.1205301>.
27. ECOS Resolution 12-9, PCBs in Products [página web]. Washington, DC: Consejo Ambiental de los Estados (2013). Disponible en: http://www.ecos.org/section/new_resolutions/ [consultado el 12 de febrero de 2013].
28. Estado de Washington. Spokane River Toxics Reduction Strategy. Lacey, WA: Departamento de Ecología, Estado de Washington (revisada en agosto de 2012). Disponible en: <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/summarypages/1110038.html> [consultado el 12 de febrero de 2013].
29. Re: Docket ID No. EPA-HQ-OPPT-2009-0757, Comments on Polychlorinated Biphenyls (PCBs); Reassessment of Use Authorizations. Carta de Doug Krapas, et al., a la Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (20 de agosto de 2010). Disponible en: <http://goo.gl/38Ue1> [consultado el 12 de febrero de 2013].
30. EPA. Polychlorinated Biphenyls (PCBs): Reassessment of Use Authorizations [página web]. Washington DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (actualizada el 6 de febrero de 2013). Disponible en: <http://yosemite.epa.gov/opei/rulegate.nsf/byRIN/2070-AJ38> [consultada el 12 de febrero de 2013].
31. Re: Docket ID No. EPA-HQ-OPPT-2009-0757-0195, Comments on Polychlorinated Biphenyls (PCBs); Reassessment of Use Authorizations. Carta de J. Lawrence Robinson a la Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (19 de agosto de 2010). Disponible en: <http://www.regulations.gov/#/documentDetail;D=EPA-HQ-OPPT-2009-0757-0195> [consultado el 12 de febrero de 2013].
32. Re: The Importation of Polychlorinated Biphenyls (PCBs) at Concentrations up to 50 ppm in Dyes and Pigments. Carta de Lisa Jackson, Administradora de la Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos, a Mike Simpson (27 de enero de 2012). Disponible en: <http://goo.gl/BhYOD> [consultado el 12 de febrero de 2013].
33. Re: The Environmental Council of the States Resolution Addressing Polychlorinated Biphenyls (PCBs) in Wastewater Discharges. Carta de Tala R. Henry a Bart Mihailovich. Disponible en: <http://goo.gl/pzdeh> [consultado el 12 de febrero de 2013].
34. ETAD. ETAD Position on the Presence of Traces of PCBs in Some Organic Pigments. Stadthausgasse, Suiza: Asociación Ecológica y Toxicológica de Fabricantes de colorantes y de pigmentos orgánicos (ETAD) (24 de enero de 2011). Disponible en: <http://goo.gl/tz4QD> [consultada el 12 de febrero de 2013].
35. Anliker R, Moser P. The limits of bioaccumulation of organic pigments in fish: their relation to the partition coefficient and the solubility in water and octanol. *Ecotoxicol Environ Saf* 13(1):43-52 (1987). Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/0147-6513\(87\)90041-8](http://dx.doi.org/10.1016/0147-6513(87)90041-8).
36. Testing for PCB Congeners & Aroclors [website]. Kelso, WA: ALS-Columbia (2012). Disponible en: <http://www.caslab.com/PCB-Congeners-Aroclors-Testing/> [consultado el 12 de febrero de 2013].
37. EPA. National Listing of Fish Advisories: General Fact Sheet 2010 [website]. Washington, DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (actualizada el 26 de abril de 2012). Disponible en: <http://goo.gl/C12x8> [consultado el 12 de febrero de 2013].

Tabaquismo

El humo de cigarrillo puede aumentar la virulencia microbiana*

Durante mucho tiempo se ha sabido que el humo de cigarrillo agrava las infecciones respiratorias. Un nuevo estudio expande los efectos potenciales sobre la salud a un nuevo frente, al demostrar que la exposición aguda *in vitro* del *Staphylococcus aureus* al humo del cigarrillo promueve la formación de biopelícula y la adhesión a las células humanas.¹ Al parecer, los agentes activos detrás de este incremento de la actividad eran especies reactivas de oxígeno (tales como el peróxido de hidrógeno), que están vinculadas no sólo al humo del cigarrillo sino también a los gases de combustión vehicular y al humo de biomasa.

La investigación fue realizada por Ritwij Kulkarni, investigador postdoctoral del laboratorio de Adam Ratner en el Departamento de Pediatría de la Universidad Columbia.

La nueva investigación "puede explicar en parte la fuerte asociación entre la exposición al humo de tabaco y las infecciones del tracto respiratorio", señala Janet Lee, profesora adjunta de Medicina del Centro Médico de la Universidad de Pittsburgh, quien no colaboró en el estudio. Investigaciones anteriores habían vinculado el humo de tabaco con la formación de biopelícula,² pero ésta es la primera en examinar los mecanismos subyacentes potenciales, añade.

En el estudio actual, los investigadores expusieron múltiples cepas de *S. aureus* cultivado a diversas

concentraciones de humo de tabaco burbujeando el humo dentro del medio de crecimiento. La formación de biopelícula se incrementó en el *S. aureus* expuesto en una forma dependiente de la dosis. También se demostró que las bacterias expuestas incrementan la unión a la fibronectina humana y a las células epiteliales de los pulmones, en comparación con los controles. La fibronectina es una proteína de la superficie celular que contribuye a la adhesión celular, entre otras funciones. Las bacterias pueden unirse a la fibronectina para invadir células humanas.

La exposición al peróxido de hidrógeno por sí sola también indujo la producción de biopelícula, mientras que la adición del antioxidante *N*-acetil cisteína al humo de tabaco interrumpió la capacidad de éste de inducir la formación de biopelícula. Estas observaciones sugieren que el humo dispara una vía dependiente de los oxidantes, incrementando la formación de biopelícula.

El artículo forma parte de una literatura nueva pero en rápida expansión. Noam A. Cohen, profesor adjunto del Departamento de Otorrinolaringología y Cirugía de Cabeza y Cuello de la Universidad de Pensilvania, ha investigado el efecto del humo de tabaco en múltiples especies de bacterias a la vez. Las bacterias fueron aisladas de los pasajes sino-nasales de pacientes fumadores y no fumadores con sinusitis crónica. Se

asoció el humo de tabaco al incremento de la formación de biopelícula entre todas las especies de bacterias, pero más entre aquellas aisladas de los fumadores que entre las aisladas de los no fumadores.²

Cohen alaba el estudio de Columbia y afirma que el nuevo trabajo sugiere que el humo de tabaco puede "convertir las bacterias en una forma más agresiva". Pero se requieren más estudios para confirmar los hallazgos y determinar si el incremento de formación de biopelícula se traduce en una mayor patogenicidad o persistencia microbiana; los datos del propio Cohen sugieren que el cese de la exposición al humo revierte el incremento de la formación de biopelícula.² Es más, no se ha estandarizado el uso de extracto de humo de tabaco para los estudios *in vitro*.

La relevancia de todos estos hallazgos para la salud ambiental humana es amplia, señala Lee, una clínica interesada en la forma en que el humo de tabaco altera a las poblaciones de células inmunes. "El humo de tabaco ha sido vinculado a múltiples enfermedades, tales como gingivitis oral, rinosinusitis crónica y enfermedades pulmonares crónicas", añade, y la evidencia epidemiológica sugiere que la exposición al humo de segunda mano incrementa el riesgo de colonización por *S. aureus* en los niños.³ Otros nuevos hallazgos demuestran que el humo de tabaco incrementa la producción de biopelícula de la *Pseu-*

* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 121, número 3, marzo 2013, página A75.

domonas aeruginosa⁴ y del *Streptococcus pneumoniae*,⁵ dos patógenos respiratorios muy importantes. "Pero aún no se tiene una buena comprensión de los mecanismos patógenos", dice Lee, quien considera que la nueva investigación es "un paso importante en la identificación de los genes que intervienen en ellos".

Todo este trabajo puede tener particular relevancia para los pacientes con enfermedad cardiovascular.

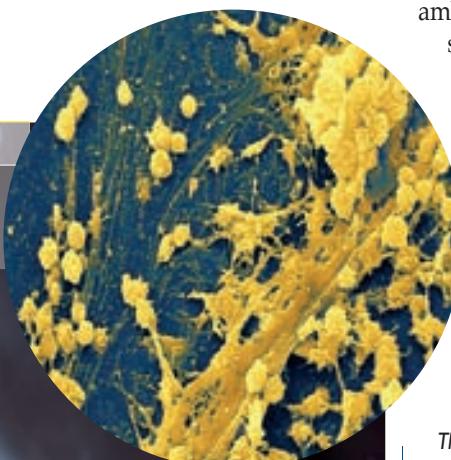
"Esto definitivamente podría ser parte de las comorbilidades que se están observando en estos pacientes, para las cuales las enfermedades cardiovasculares no constituyen una buena explicación", señala Jeff G. Leid, profesor adjunto del Centro de Genética y Genómica Microbiana de la Universidad del Norte de Arizona.

Cohen añade que las exposiciones al humo de tabaco van mucho más allá del árbol respiratorio. Explica que "Muchos de los productos de tabaco se introducen en el torrente sanguíneo y pueden así afectar a bacterias ubicadas en sitios distantes": en las articulaciones, en el corazón o en el tracto intestinal, por ejemplo. Rattner concluye: "Nuestras exposiciones ambientales no sólo nos afectan a nosotros; afectan también a nuestras bacterias". Independientemente de si esto nos ayuda o nos daña, agrega, necesitamos tomarlo en consideración al investigar los efectos de las exposiciones ambientales sobre la salud.

David C. Holzman escribe sobre ciencia, medicina, energía, economía y automóviles desde Lexington y Wellfleet, MA. Sus artículos se han publicado en las revistas *Smithsonian*, *The Atlantic Monthly* y *Journal of the National Cancer Institute*.

Imagen: *S. aureus*, recuadro: © ScienceSource

Micrografía del *Staphylococcus aureus*



Una mano sostiene un cigarrillo encendido envuelto en una columna de humo

Foto: Mano: © Shutterstock.com

Las especies reactivas de oxígeno en el humo de tabaco pueden promover la formación de biopelícula por *Staphylococcus aureus* (recuadro), un patógeno respiratorio común.

Referencias

1. Kulkarni R, et al. Cigarette smoke increases *Staphylococcus aureus* biofilm formation via oxidative stress. *Infect Immun* 80(11):3804-3811 (2012). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1128/IAI.00689-12>.
2. Goldstein-Daruech N, et al. Tobacco smoke mediated induction of sinonasal microbial biofilms. *PLoS ONE* 6(1):e15700 (2011). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0015700>.
3. Bogaert D, et al. Colonisation by *Streptococcus pneumoniae* and *Staphylococcus aureus* in healthy children. *Lancet* 363(9424):1871-1872 (2004). Disponible en: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(04\)16357-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(04)16357-5).
4. Antunes MB, et al. 2012. Molecular basis of tobacco-induced bacterial biofilms. *Otolaryngol Head Neck Surg* 147(5):876-884 (2012). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/0194599812447263>.
5. Mutepe ND, et al. 2012. Effects of cigarette smoke condensate on pneumococcal biofilm formation and pneumolysin. *EurRespir J* 41(2):392-395 (2013). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00213211>.

Contaminación atmosférica

Se establece una nueva norma primaria para el material particulado fino*

Las concentraciones de material particulado fino (MP_{2,5}) en el ambiente han disminuido en los últimos años como resultado de las regulaciones establecidas por la Agencia de Protección al Medio Ambiente (EPA), y la agencia prevé que esta tendencia continuará.¹ Sin embargo, centenares de estudios realizados desde la última revisión de las regulaciones indican que podría ser necesario establecer reglas más estrictas para proteger adecuadamente a la población de Estados Unidos contra los efectos adversos asociados al MP_{2,5} sobre el sistema cardiovascular, respiratorio y posiblemente otros.² En diciembre de 2012 la EPA redujo la Norma Nacional de Calidad del Aire Ambiental (en inglés, NAAQS) primaria anual para el MP_{2,5} a un nivel que, según prevé, protegerá a la salud pública con un margen adecuado de seguridad en combinación con la norma de 24 horas existente.³

La nueva norma primaria anual de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, más baja que la anterior, de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, cae en el extremo inferior del rango de entre 12 y 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ propuesto por la EPA en junio de 2012.⁴ Con la nueva norma, más de 44 millones de residentes de Estados Unidos viven en condados que estarían violando la norma si estuviera en vigor el día de hoy, según datos de supervisión de 2009-2011.^{5,6} Sin embargo, para el año 2020 –la fecha límite para su implementación– se espera que sólo siete de los condados supervisados se encuentren en una situación violatoria como resultado de la implementación continua de otras regulaciones que ya están en vigor, como las relativas a los motores de diesel y otros vehículos para circular en carretera y todo terreno, incineradores de basura y plantas de energía eléctrica de combustión de carbón.

Es factible que las concentraciones ambientales de MP sean en general más bajas en el ámbito nacional en el año

2020 de lo que son actualmente, señala Lorraine Gershman, directora de asuntos ambientales, normativos y técnicos del Consejo Americano de Química (en inglés, ACC), el cual representa a algunas de las industrias afectadas por la regulación. Eso, junto con las incongruencias en los hallazgos acerca de los efectos sobre la salud de la contaminación con material particulado es el motivo por el que el ACC se opuso a reducir la norma.⁷

Las normas primarias se establecen para proteger a la salud humana contra efectos agudos y crónicos, mientras que las normas secundarias tienen como fin abordar una gama de impactos ambientales, tales como los efectos del clima, el daño a los materiales y los problemas de visibilidad. La norma primaria anual anterior para la MP_{2,5} de 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, fue establecida en 1997.⁸ La administración de Bush en 2006 mantuvo esta norma, pero en 2009 la Corte de Apelaciones para el Circuito del Distrito de Columbia la remitió a la EPA y dio a la agencia instrucciones de explicar de qué manera protegería la salud pública con un margen de seguridad adecuado como el que requiere la Ley del Aire Limpio.⁹ La EPA pretende resolver las deficiencias identificadas por la corte con esta nueva regulación de 2012.

La norma primaria de 24 horas permanece sin modificación desde la concentración de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la administración de Bush, umbral que no fue cuestionado por la corte. Tampoco se modificaron las normas secundarias anual y de 24 horas, las cuales quedaron en 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente (aunque ambos fueron cuestionados en las acciones legales de diversos partidos posteriores al año 2006). Los niveles primario y secundario de 24 horas para el material particulado burdo (MP₁₀), establecidas en 1987 y ratificadas por la corte en su resolución de 2009, también permanecen sin modificación, en 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La agencia estima que las únicas localidades que requerirán emprender acciones para satisfacer el nuevo conjunto de normas sobre el MP serán siete condados en California, y posiblemente todos los demás condados cercanos o partes de algunos de ellos. Para estos condados, entre los que se incluyen algunos de los más densamente poblados de California, la agencia estima que las normas actualizadas darán lugar a beneficios anuales de entre 4 000 y 9 100 millones de dólares que se ahorrarán merced a la prevención de problemas de salud y muertes prematuras, y sus costos de implementación se calculan entre 53 y 350 millones de dólares.¹⁰ En otras palabras, el coste de conformidad es entre 12 y 171 veces menor que los costos de salud que tanto los individuos como los programas de salud tendrían que sufrir si no se estrechara la norma.¹¹

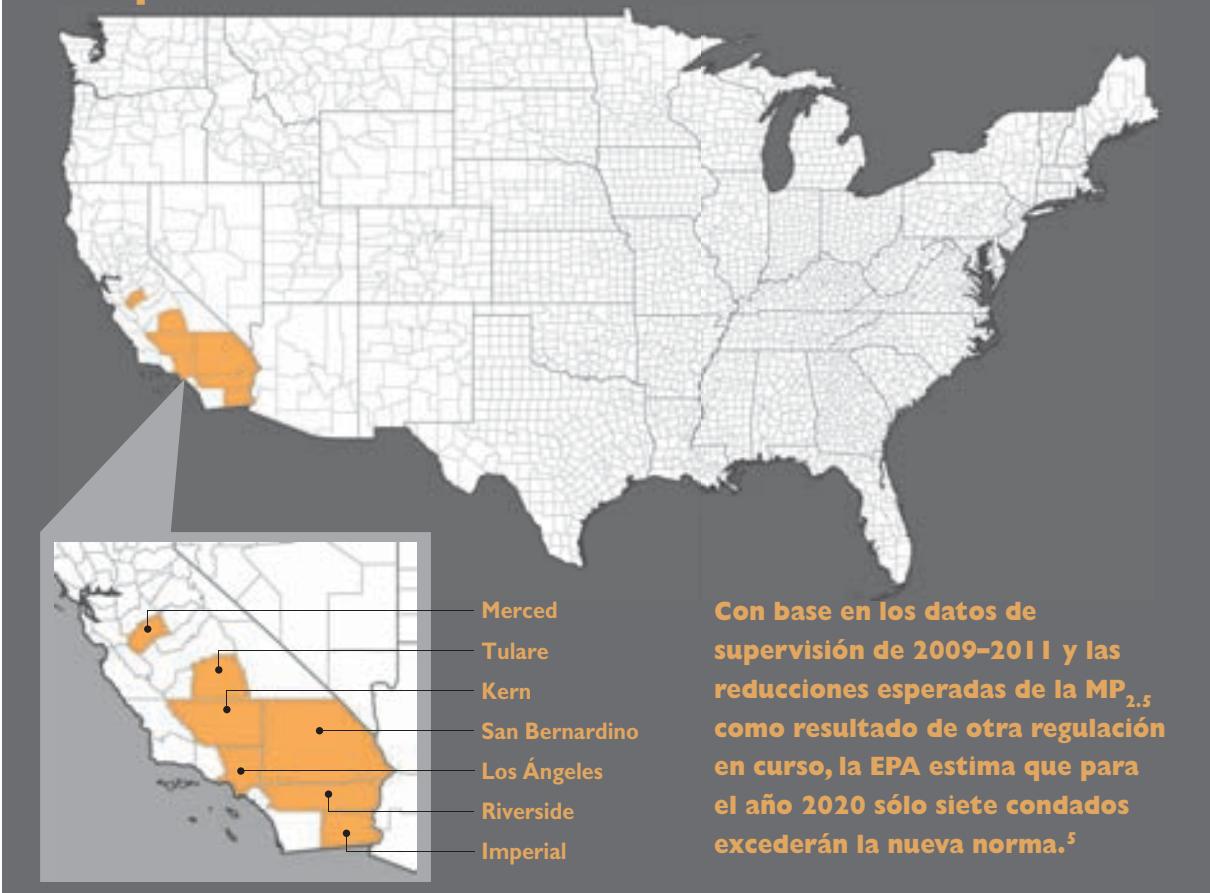
Una de las mayores inquietudes de la industria en relación con las nuevas regulaciones es la incertidumbre de que se obtendrán permisos para instalaciones nuevas o ampliadas en condados que apenas cumplen con aquéllas, dice Gershman. Debido en parte a las limitaciones en los esfuerzos actuales de modelación, la incertidumbre podría prolongarse hasta finales de 2014, cuando se espera que la EPA, en colaboración con los gobiernos estatales, tribales y locales, finalice las decisiones sobre qué países violan la norma. "Nuestro enfoque estará en el trabajo conjunto con la EPA para obtener una guía de modelación más exhaustiva", señala.

Georges Benjamin, director ejecutivo de la Asociación Americana de Salud Pública, hubiera querido que todas las demás normas relativas a la MP_{2,5} y a la MP₁₀ se hicieran también más estrictas; pero especula que la agencia no tomará esa ruta, pese a que existe apoyo científico para que lo haga, hasta que la tecnología de control de la

* Publicado originalmente en *Environmental Health Perspectives*, volumen 121, número 3, marzo 2013, página A74.

Cumplimiento en 2020

Fuente: referencia 5



contaminación mejore en capacidad, en costo o en ambos. "No se le puede pedir a la industria que haga algo imposible", dice. "Hay allí una necesidad de encontrar una solución intermedia".

Bob Weinhold ha escrito sobre cuestiones de salud ambiental para múltiples publicaciones desde 1996. Es miembro de la Sociedad de Periodistas Ambientales.

Referencias

1. EPA. Particulate Matter: National Trends in Particulate Matter Levels [página web]. Washington, DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (actualizada el 28 de noviembre de 2012). Disponible en: <http://www.epa.gov/airtrends/pm.html> [consultada el 7 de febrero de 2013].
2. EPA. CASAC Review of Policy Assessment for the Review of the PM NAAQS—Second External Review Draft (junio de 2010). EPA-CASAC- 10-015. Washington, DC: Comité de Asesoría Científica sobre Aire Limpio, Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (10 de septiembre de 2010). Disponible en: <http://goo.gl/gM9Lx> [consultado el 7 de febrero de 2013].
3. EPA. The National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution: Particle Pollution and Health. Washington, DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (14 de diciembre de 2012). Disponible en: <http://www.epa.gov/pm/2012/decfsstandards.pdf> [consultado el 7 de febrero de 2013].
4. Weinhold B. EPA proposes tighter particulate air pollution standards. Environ Health Perspect 120(9):A348-A349 (2012). Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.120-a348a>.
5. EPA. Projected Fine Particle Concentrations for Counties with Monitors in 2020. Washington, DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos. Disponible en: <http://www.epa.gov/pm/2012/2020table.pdf> [consultado el 7 de febrero de 2013].
6. U.S. Census Bureau. State & County QuickFacts [website]. Washington, DC: Oficina del Censo de Estados Unidos, Departamento de Comercio de Estados Unidos (2013). Disponible en: Disponible en: <http://quickfacts.census.gov/qfd/index.html> [consultado el 7 de febrero de 2013].
7. ACC Disappointed by New, Lower EPA Particulate Matter NAAQS Standard [press release]. Washington, DC: Consejo Americano de Química (14 de diciembre de 2012). Disponible en: <http://goo.gl/UYszh> [consultado el 7 de febrero de 2013].
8. EPA. The National Ambient Air Quality Standards for Particle Pollution: Revised Air Quality Standards for Particle Pollution and Updates to the Air Quality Index (AQI). Washington, DC: Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (14 de diciembre de 2012). Disponible en: <http://www.epa.gov/decfsstandards.pdf> [consultado el 7 de febrero de 2013].
9. American Farm Bureau Federation and National Pork Producers Council v. Environmental Protection Agency. 559 F3d 512 (DC Cir 2009). Disponible en: [http://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/A6779299E5497CF4852578000074E477/\\$file/06-1410-1166572.pdf](http://www.cadc.uscourts.gov/internet/opinions.nsf/A6779299E5497CF4852578000074E477/$file/06-1410-1166572.pdf) [consultado el 7 de febrero de 2013].
10. EPA. Regulatory Impact Analysis for the Final Revisions to the National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter. Research Triangle Park, NC: Oficina de Planeación y Normas de la Calidad del Aire, Agencia de Protección al Medio Ambiente de Estados Unidos (diciembre de 2012). Disponible en: <http://www.epa.gov/pm/2012/finalria.pdf> [consultado el 7 de febrero de 2013].
11. La Ley de Aire Limpio no permite que la EPA considere costos al establecer normas, pero la agencia sí estima los costos y los beneficios de las acciones en respuesta a las directrices de la División Ejecutiva como una forma de ilustrar los impactos de una regulación.