

3. Mediante electroforesis, espectrometría de masas y otras técnicas, se ha obtenido la composición del veneno de la serpiente de cascabel diamantada del oeste (*Crotalus atrox*). La mayor parte corresponde a metaloproteasas (SVMP, de "snake venom metalloprotease") y serinoproteasas. Se han hallado también disintegrinas (inhiben la agregación plaquetaria), fosfolipasas A<sub>2</sub> (PLA<sub>2</sub>), L-aminoácido oxidasa (LAO), C-lectinas, péptidos vasoactivos y proteínas secretoras ricas en cisteína (CRISP). Este cóctel de toxinas explica los efectos citotóxicos, miotóxicos, hemotóxicos y hemorrágicos que suele causar el envenenamiento por *Crotalus atrox*.

### El veneno de *Crotalus atrox*

Las serpientes de cascabel poseen en la punta de la cola unos característicos anillos óseos sonoros, de ahí su otro nombre, crótalos. Pertenecen al género *Crotalus*. Este clado se originó durante el Mioceno, hace unos 20 millones de años, en la Sierra Madre Occidental de la meseta mexicana; su dispersión hacia el norte y el sur ha originado las 34 especies de crótalos que medran en América, desde el sudeste de Canadá al norte de Argentina (el lector hallará un inventario actualizado de serpientes en <http://www.reptile-database.org>). Sus mordeduras son tremendamente dolorosas; pueden resultar letales para un humano si no se le administra el antídoto adecuado.

La serpiente *Crotalus atrox*, cascabel diamantada del oeste, habita en grandes extensiones de terreno árido, desde Arkansas a California y norte de México. Los animales adultos sobrepasan los 120 centímetros de longitud y los 6,7 kilogramos de peso. *Crotalus atrox* posee un potente veneno: la dosis letal media intramuscular para ratones es de

20 miligramos por kilo. Causa un gran número de muertes humanas al año, lo que la convierte en la serpiente más peligrosa de Estados Unidos.

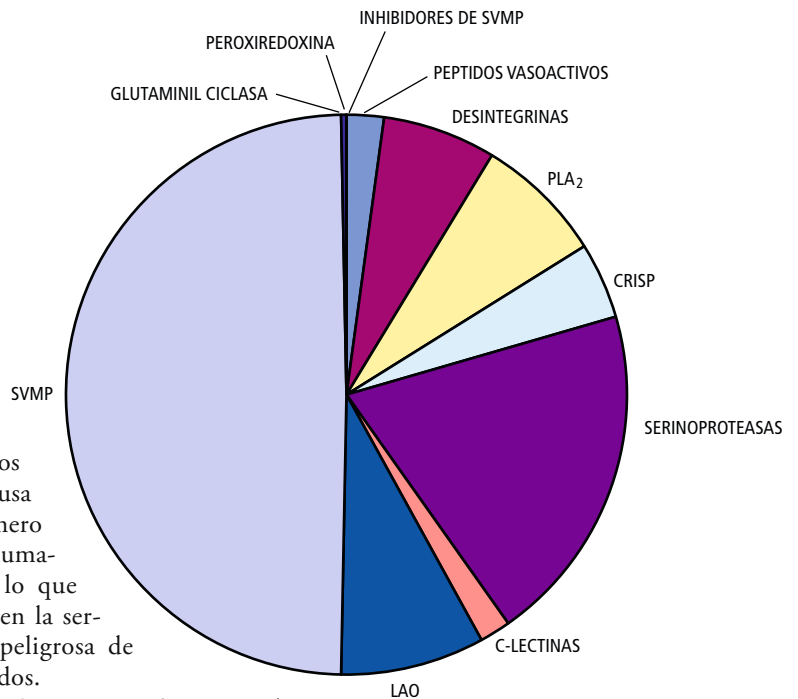
Mediante técnicas proteómicas, química combinatoria y otros métodos, hemos determinado las toxinas que componen el veneno de *Crotalus atrox*. Los resultados, publicados en 2009 en el *Journal of Proteome Research*, muestran que el arsenal de toxinas de esta especie se reduce a un par de docenas de proteínas: el 70 por ciento corresponde a metaloproteasas dependientes del catión zinc (Zn<sup>2+</sup>) y endoproteasas del grupo de las serinoproteasas. Estas toxinas degradan la matriz extracelular y afectan al sistema homeostático. Encontramos también inhibidores de la agregación plaquetaria (disintegrinas), miotoxinas (fosfolipasas A<sub>2</sub>), L-aminoácido oxidasa, C-lectinas y péptidos vasoactivos. Ello explica en gran medida los efectos citotóxicos, miotóxicos, hemotóxicos y hemorrá-

cos típicos del envenenamiento por *Crotalus atrox*.

Esta investigación se enmarca en un proyecto más amplio que se propone desentrañar las bases moleculares de la evolución de los venenos del género *Crotalus*. La elucidación de la composición y mecanismos de diversificación adaptativa de estos venenos facilitará la obtención de un suero anticrotálico panamericano que neutralice todos los venenos del género. La producción de antivenuenos de amplio espectro ofrece además una estrategia para abaratar costes y optimizar los recursos terapéuticos.

**Juan J. Calvete**

Laboratorio de Proteómica Estructural  
Instituto de Biomedicina de Valencia



## Calidad del aire urbano

*No contaminan sólo los motores. También las obras y el desgaste de frenos, neumáticos y firme de rodadura*

La Comisión Europea publicó en 2008 la Directiva de Calidad del Aire y Aire Limpio para Europa (2008/50/CE), donde se fijan valores límite (VL) de exposición de la población —predominante en zonas urbanas— para contaminantes atmosféricos. Entre éstos destacan por su dificultad de cumplimiento los VL de dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) y de partí-

culas respirables PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub> (que indica la masa de material particulado, PM, de diámetro inferior al número, en micrometros, indicado en el subíndice). Sin olvidarse del ozono (O<sub>3</sub>) troposférico, con grandes zonas de incumplimiento normativo fuera de las ciudades. La directiva supone un reto político, ambiental, técnico e incluso científico.

### Un parque móvil creciente

En la mayoría de los casos, la superación de los valores límite de NO<sub>2</sub> y PM<sub>10</sub> o PM<sub>2,5</sub> se producen en áreas próximas al tráfico rodado. El parque automovilístico ha crecido de forma notable en los últimos decenios, sin limitaciones de acceso a las zonas urbanas. "Hay que acondicionar la ciudad para el automóvil",



**1. Capa de mezcla altamente contaminada un día de julio a las siete de la mañana en Barcelona.**

proclamaba en los años setenta un político europeo. Ese crecimiento ha dado lugar a que la mayor parte de las grandes ciudades europeas sufran problemas de congestión de tráfico.

En paralelo, la industria automovilística ha realizado un esfuerzo notable en la fabricación de modelos con niveles decrecientes de emisión de contaminantes. Sin embargo, debido al desmesurado incremento del número de vehículos, ese esfuerzo técnico no se ha traducido en una mejora evidente de la calidad del aire.

En algunas ciudades del sur de Europa, el problema de la contaminación se agrava debido al clima (caracterizado por temperaturas e insolación elevadas, y baja renovación de las masas de aire), a la arquitectura urbana (densidad elevada de edificios altos, avenidas, calles estrechas y pocas zonas verdes), que dificultan la dispersión de contaminantes, y a la desmesurada “dieselización” del parque móvil, que resulta en un incremento de las emisiones de partículas.

En España, entre el 40 y 60 por ciento de las estaciones de control de calidad del aire urbano de tráfico superan el VL anual de  $\text{NO}_2$  de la directiva fijados para 2010. En cambio, menos del 10 por ciento de las estaciones de control industrial lo superan. Además de problemas locales y directos de calidad del aire, las emisiones de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) por tubos de escape, cuando se liberan junto a las emisiones de hidrocarburos volátiles (HCV), pueden dar problemas de ozono troposférico en zonas circundantes. Ello se debe a que el ozono se genera durante el trans-

**2. Entre un 15 y un 25 por ciento de las partículas en suspensión atribuibles al tráfico provienen del desgaste de los componentes del vehículo y del firme de rodadura.**

porte de masas de aire contaminadas por  $\text{NO}_x$  e HCV.

Las emisiones de PM son originadas en parte por la quema de combustibles en los motores, siendo las de un motor diésel muy superiores a las de uno de gasolina (también para  $\text{NO}_2$ ). Además, por oxidación de  $\text{NO}_2$  se forma ácido nítrico, precursor del nitrato amónico, componente mayoritario de las partículas respirables.

### Abrasión contaminante

Además de las emisiones del motor, el desgaste de los frenos, los neumáticos y el firme de rodadura emiten también PM con metales y metaloides (Fe, Cu, Zn, Mn, Ba, Mo, Sn y Sb). Muchos de esos elementos constituían en el pasado los típicos trazadores de emisiones industriales; desde hace unos decenios, lo son del tráfico rodado. Amén de las emisiones debidas al desgaste, existen otras causadas por la resuspensión del material depositado en el firme.

Ese material, que procede de dos tipos de fuentes —naturales y antrópicas (desgaste de componentes del vehículo y del firme, obras, polvo africano y zonas no asfaltadas)—, es resuspendido por turbulencias generadas por los vehículos. Al tratarse sobre todo de partículas gruesas (de entre 2,5 y 10 micras de diámetro) y de origen mineral, las emisiones tienen un altísimo impacto en la concentración de  $\text{PM}_{10}$ . Sin embargo, hasta la fecha la atención se ha polarizado en la reducción de las emisiones de los motores de los vehículos.

### Soluciones

El cumplimiento de los futuros retos de la directiva de calidad del aire va a exi-

gir un esfuerzo técnico adicional para reducir emisiones de contaminantes de los vehículos: proliferación de vehículos híbridos, eléctricos, de gas, aplicación de catalizadores a motores diésel y de gas para reducir emisiones de  $\text{NO}_x$  y filtros de partículas en motores diésel, entre otras medidas. Sin embargo, ese esfuerzo no basta para cumplir los VL normativos. Ciudades con un demostrado interés por el medio ambiente, como Londres, París y Estocolmo, aplican desde 2003 las medidas mencionadas al transporte público y a los vehículos de la administración. Su valiosa experiencia demuestra que ello no es suficiente.

Para no rebasar los límites de contaminación del aire urbano debe reducirse entre un 30 y un 40 por ciento el tráfico urbano. Ideal que puede alcanzarse mediante varias medidas no técnicas: zonas de parking verde disuasorias, limitación de entrada a los vehículos más contaminantes y acceso favorecido a los más ecológicos. Para ello, la red de transporte público (preferiblemente poco contaminante) debe poder absorber los viajeros que aparquen su vehículo.

Los estudios sobre el efecto de dichas medidas en la calidad del aire urbano son escasos. Sin embargo, los retos de la directiva exigen la toma urgente de decisiones. Para disminuir el riesgo de fracaso, conviene que las decisiones de política ambiental se basen en estudios científicos que avalen su eficacia.

**Xavier Querol, Fulvio Amato  
y Andrés Alastuey**

*Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (IDAEA), CSIC, Barcelona*

