

# Aire limpio, ¿un MILAGRO?

Gertrudis Uruchurtu



Foto: Sasha Madronich

La Ciudad de México el 18 de marzo, 2006.



Foto: Stephen Springston

## Un proyecto internacional único en el mundo, en el que participan 450 científicos y técnicos, abre el camino para disminuir la contaminación atmosférica en las megaciudades.

**CADA DÍA**, durante un mes, y aprovechando el tráfico de las siete de la mañana, Tim Onasch y Scott Herndon, de la empresa Aerodyne (ARI), y Miguel Zavala del Instituto Tecnológico de Massachusetts, así como otros investigadores, se subían a un vehículo blanco parecido a un camión repartidor. La diferencia es que éste llevaba el más completo y sofisticado equipo para medir los gases, polvos y aerosoles que salen por los escapes de los coches. En ese camión se aventuraban a todos los sitios que los habitantes de la Ciudad de México tratan de evitar: las avenidas de tráfico más intenso, los embotellamientos más densos. Por medio de unos tubos especiales absorbían las emisiones de los vehículos vecinos, las cuales pasaban inmediatamente a los analizadores.

El trabajo de Onasch y su grupo formó parte de la campaña MILAGRO, siglas en inglés de Iniciativa para Megaciudades: Observaciones de Investigación Local y Global, que se llevó a cabo a lo largo del

pasado mes de marzo. El objetivo de la campaña era recopilar la mayor cantidad de información posible acerca de los contaminantes que ensucian el aire que respiran los pobladores de la zona metropolitana del Valle de México (ZMVM), que incluye municipios del estado de México y del estado de Hidalgo. La red de aparatos de monitoreo de contaminantes atmosféricos estuvo distribuida en globos y sondas ancladas y libres, seis aviones y tres satélites especializados, y funcionó sin descanso las 24 horas del día. Los detectores de superficie estuvieron estratégicamente repartidos en una extensión que abarca desde el Valle de México hasta Veracruz. Los principales se colocaron en el Instituto Mexicano del Petróleo (IMP), ubicado al norte de la Ciudad de México, la Universidad Tecnológica de Tecámac en el estado de México y el Rancho La Biznaga, también en ese estado.

Con los datos recopilados en marzo, los científicos de MILAGRO pretenden determinar la composición de los contami-

nantes atmosféricos, localizar sus fuentes principales y trazar su trayectoria. De esta manera se podrán conocer sus efectos tanto locales como globales, ya que los contaminantes pueden ser transportados a miles de kilómetros de distancia. Otro aspecto que han estudiado es la transformación química y física de los contaminantes una vez que se encuentran en el aire, al reaccionar ya sea con elementos de la atmósfera o con otros contaminantes. MILAGRO es la primera campaña de esta envergadura en el mundo. Una vez integrados todos los resultados, éstos serán la base para el diseño de políticas gubernamentales encaminadas a mejorar la calidad del aire de la zona metropolitana de la Ciudad de México.

En el proyecto participan 450 científicos y técnicos con especialización en ciencias de la atmósfera, de muy diversas instituciones y nacionalidades. El proyecto está patrocinado por México, a través de la Comisión Ambiental Metropolitana, el Instituto Nacional de Ecología de la Secretaría

del Medio Ambiente y Recursos Naturales, el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología y PEMEX, y por los Estados Unidos, por medio de la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF), el Departamento de Energía (DOE) y la NASA. Los equipos científicos fueron aportados por diferentes universidades y centros de investigación.

La campaña MILAGRO ha sido coordinada, desde su planeación, que tomó tres años, por la Dra. Luisa Tan Molina, del Centro Molina para la Energía y el Medio Ambiente y del Instituto Tecnológico de Massachusetts. Los directores científicos de la campaña fueron la propia Dra. Molina, el Dr. Jeff Gaffney del Laboratorio Nacional Argonne y el Dr. Sasha Madronich del Centro Nacional para la Investigación Atmosférica (NCAR).

### Mezcla de gases

Las actividades diarias de MILAGRO empezaban en el centro de operaciones, ubicado en Veracruz y en los “supersitios” en la ZMVM, donde se discutía la logística del día y los problemas que se habían presentado el día anterior, así como las metas alcanzadas. Los meteorólogos exponían su



Instrumentos dentro del avión NCAR/NSF C-130.

pronóstico del tiempo basándose en modelos computacionales que tomaban en cuenta la altitud, la velocidad y dirección del aire y la concentración de contaminantes. Estos datos serían de suma importancia para todos los equipos de trabajo, tanto para los laboratorios en tierra como para los aéreos.

En su camión blanco, el grupo de Onasch registraba emisiones contaminantes como las de bióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que es el principal indicador del aumento del tráfico y se desprende siempre que se quema algún compuesto orgánico. Otros contaminantes son el monóxido de carbono (CO), que resulta de una combustión incompleta de la gasolina, y restos de combustible sin quemar. Además, los combustibles fósiles siempre están acompañados por impurezas de compuestos orgánicos que contienen azufre (S) y nitrógeno (N). Al quemarse el combustible en presencia del oxígeno del aire, estos dos elementos

forman bióxido de nitrógeno ( $\text{NO}_2$ ) y bióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ). Todos estos gases son contaminantes “primarios”, que son tóxicos e irritantes. Pero el problema de contaminación más grande ocurre cuando el  $\text{NO}_2$  reacciona con la gasolina que no se quemó y forma ozono ( $\text{O}_3$ ). Para que esta reacción se lleve a cabo se requiere energía luminosa. Por lo tanto, a medida que aumenta la luminosidad del día, más se concentra en la atmósfera el ozono, que es sumamente irritante y oxidante de los tejidos.

A veces el camión permanecía estacionado 24 horas en ciertos sitios estratégicos, como el pico de Tres Padres o las inmediaciones de la refinería de Tula. Durante ese tiempo analizaba el contenido y evolución diaria de la mezcla de gases proveniente de la ciudad. Un día, muy temprano en la mañana, los científicos detectaron niveles muy altos de bióxido de azufre. Como no estaba acompañado de una elevación de  $\text{CO}_2$ , no se debía a la combustión de la gasolina. Este gas provenía de una gran fumarola que esa madrugada había lanzado el volcán Popocatepetl.

### Científicos de azotea

Por su parte, el equipo de trabajo de Beatriz Cárdenas y Claudia Márquez, del Instituto Nacional de Ecología, llegaba a la tres de la mañana a las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo. A esas horas calibraban los aparatos que se hacían subir en



Lanzamiento de globo en Tecamac.

Foto: Luisa Tan Molina



Torre Flux vista desde el edificio de la Red Automática de Monitoreo Atmosférico.

globo a 4000 metros de altura para atrapar y registrar la concentración de hidrocarburos y de ozono a lo largo del día. Globos como éste se lanzan en diferentes sitios de monitoreo tanto fijos como móviles cuatro veces al día y algunas veces en la noche. También se lanzan globos meteorológicos de vuelo libre que permanecen en el aire entre uno y tres días y llegan a 5500 metros de altura. Otro tipo de globo son las ozonosondas y radiosondas, que aportan datos de temperatura, presión y humedad relativa.

El australiano Simon Paech, de la Universidad de Alabama, subía diariamente



Lanzamiento de globo en el Instituto Mexicano del Petróleo.

## Proyecto milagro

MILAGRO son las siglas en inglés de “Iniciativa para Megaciudades: Observaciones de Investigación Local y Global”. Está integrada por cuatro grandes proyectos de investigación de ciencias de la atmósfera:

- MCMA-2006: Zona metropolitana de la Ciudad de México-Experimento 2006 (*Mexico City Metropolitan Area -2006 Experiment*). Mediciones encaminadas a estudiar la calidad del aire en esta zona, los patrones de exposición y los efectos en la salud humana, así como a diseñar y evaluar acciones para reducir los niveles de contaminantes.
- MAX-Mex: Experimento de Aerosol en una megaciudad (*Megacity Aerosol Experiment*). Estudio del comportamiento de las partículas suspendidas en la atmósfera: transporte,

transformación, propiedades químicas y ópticas.

- MIRAGE-Mex: Impactos de una megaciudad en ambientes regionales y globales (*Megacity Impacts on Regional and Global Environments*). Estudio de las transformaciones químicas y físicas de los gases y partículas contaminantes que emanan de una megalópolis, así como sus efectos regionales y globales en la composición de la atmósfera y el clima.
- NTEX-B: Experimento B de transporte químico intercontinental (*Intercontinental Chemical Transport Experiment-B*). Experimento para caracterizar la distribución a largo plazo de la contaminación, la fotoquímica atmosférica mundial y los efectos de los aerosoles y las nubes en el clima.

a la azotea del IMP. Con lentes oscuros y sombrero de lona calado hasta las orejas, trabajaba casi todo el día al rayo del sol revisando el radiómetro y el perfilador de vientos ahí instalados. El radiómetro registraba vapor de agua y temperatura en una columna atmosférica de 10 kilómetros de altura; enviaba hacia arriba un rayo de microondas que se reflejaba y volvía a tierra. Los datos que recogía iban a las computadoras que se encontraban en un cuarto anexo. El perfilador de vientos, que parece una enorme tina de baño, tiene capacidad de revelar las características físicas del movimiento del aire.

Otros científicos “de azotea” recibían datos sobre concentración de sodio y potasio en la atmósfera por medio de un espec-

trómetro de masas. Estos dos elementos son indicadores de incendios, pues se producen de la quema de biomasa (bosques, pastizales y ciertos tipos de basura orgánica).

Dara Salcedo, de la Universidad Autónoma de Morelos, registró diariamente en su computadora los aerosoles que atrapaba por los tubos de entrada colocados en la azotea del edificio del IMP. Un aparato especial separaba los aerosoles según su volatilidad y tamaño antes de enviarlos al espectrómetro, que analizaba su composición. Los aerosoles son partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera que miden menos de 10 micrómetros (milésimas de milímetro). Las que miden más de 10 micrómetros tienden a caer por gravedad. Algunos aerosoles son de origen natural, como el polvo y las partículas que provienen de emanaciones volcánicas y de incendios forestales. Sin embargo, la mayor cantidad de partículas la genera la actividad humana de quemar combustibles fósiles en medios de transporte e industrias. Las partículas suspendidas pueden causar mucho daño. Mientras más pequeña es la partícula, más tiempo flotará en el aire y más fácilmente penetrará en los seres vivos cuando respiran.

Las partículas suspendidas forman contaminantes secundarios cuando reaccionan con otras sustancias presentes en la atmósfera, como los óxidos de nitrógeno y de azufre, productos también de la combustión. Estas partículas son el componente principal de esa niebla amarillenta que flota sobre la Ciudad de México y que los habitantes de la zona metropolitana vemos

frecuentemente. Robert Osborne, de la Universidad Texas A&M, hizo un estudio de laboratorio con partículas específicas aisladas para conocer las condiciones en que éstas pueden crecer al unirse a otras sustancias, como óxidos de azufre o vapor de agua.

### El impacto en las personas

Saber cómo afectan a las personas los gases y las partículas contaminantes ha sido desde hace muchos años el objetivo de las investigaciones de Álvaro Osornio, del Programa Universitario del Medio Ambiente, y de Horacio Tovalín, de la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, ambas instituciones de la UNAM. Ellos participaron en la campaña MILAGRO relacionando los resultados de todos los grupos de investigación con el impacto de los contaminantes en los habitantes de las zonas que se encuentran en la trayectoria de las emanaciones, que pasa por los estados de México y de Hidalgo.

Los grupos registraron la concentración de contaminantes dentro y fuera de las escuelas y las casas de 600 niños y 210 adultos jóvenes. Mediante recolectores especiales se midió la exposición de cada uno de ellos a gases y partículas. También se tomaron muestras de sangre para evaluar cómo reaccionan a los contaminantes los fagocitos del sistema inmunológico y las enzimas antioxidantes.

Debido a que la incidencia de asma en los habitantes de las megaciudades ha aumentado paralelamente a la concentración de contaminantes, también se está realizando un estudio para saber si alguno de los cinco genes implicados en este padecimiento se encuentra afectado en los habitantes de esas zonas.

### Laboratorios voladores

De su base en el aeropuerto de Veracruz todos los días despegaban cinco aviones equipados con aparatos especializados. Unos se encargaban de tomar muestras de aire para analizar gases como monóxido y bióxido de carbono y aerosoles. Otros husmeaban incendios forestales o agrícolas, muy frecuentes en esa época del año, para determinar la composición, comportamiento y trayectoria del humo. Uno de los aviones estaba equipado con un radar láser que hizo mediciones muy finas de aerosoles. Otro, el avión J31, portaba instrumentos



Avioneta ultra ligera en el aeropuerto.

que miden el comportamiento de las partículas de aerosol ante la radiación solar. Éste es un dato muy importante, pues algunas partículas absorben la radiación y otras la reflejan. Las partículas de hollín, por ejemplo, absorben la energía radiante, mientras que las moléculas de agua de las nubes la reflejan. Esto afecta el clima del planeta, ya sea enfriando o calentando la Tierra. Finalmente, desde Houston despegaba un avión de la NASA cuya tarea era rastrear a mayor altura y distancia el transporte intercontinental de contaminantes. Tres satélites especializados en monitoreo atmosférico llamados *Aura*, *Terra* y *Aqua* dieron apoyo a los aviones validando los resultados de los experimentos realizados en ellos.

### Megaciudad

¿Por qué se eligió la zona metropolitana de la Ciudad de México para la campaña MILAGRO? Su población de más de 20 millones de habitantes hace que sea la tercera más poblada del mundo, sólo superada por Tokio y el área de Nueva York-Filadelfia. Es una zona representativa de las emisiones propias de las ciudades con economías en desarrollo y su gran luminosidad en la época del año en que se realizó la campaña favoreció el estudio de las reacciones fotoquímicas. Otro aspecto importante es que

desde hace 10 años existen datos previos de mediciones de óxidos de nitrógeno, ozono, monóxido de carbono y dióxido de azufre, partículas, reacciones fotoquímicas y aerosoles. La campaña que en 2003 (MCMA-2003) llevó a cabo la Comisión Ambiental Metropolitana ha sido una base importante para MILAGRO.

Los datos obtenidos por todos los equipos fueron enviados a la Universidad de Colorado en Boulder, donde se analizarán para emitir un resultado integrado en 2008. Los estudios de modelación en computadora que mostrarán los resultados en una forma más gráfica probablemente tomen dos años más.

El enorme costo del proyecto MILAGRO, el despliegue de tecnología y el potencial intelectual y físico invertido en éste podría perderse y llegar a ser obsoleto si no se realiza, paralelamente, una campaña educativa para que tomemos conciencia de la vulnerabilidad y fragilidad de nuestra atmósfera y de nuestros organismos ante los contaminantes que arrojamos al aire. ●

Gertrudis Uruchurtu es química farmacobióloga. Durante 30 años fue maestra de química en bachillerato y es egresada del Diplomado de Divulgación de la Ciencia de la DGDC/UNAM.

Foto: Luisa Tan Molina