

Las inversiones térmicas

EXEQUIEL EZZURRA

Todos hemos oído hablar del riesgo que representan las inversiones térmicas en la ciudad de México. Pocas personas, sin embargo, tienen una idea clara de cómo ocurren. Con frecuencia, los habitantes de la ciudad parecen creer que las inversiones térmicas son causadas por la contaminación. En realidad, las inversiones térmicas ocurren normalmente en invierno en muchas partes del mundo, tanto en las ciudades como en el campo, sin ninguna consecuencia. El problema en la cuenca de México es que los altos niveles de contaminación ambiental pueden alcanzar durante eventos de inversión térmica niveles severamente dañinos para la salud humana. El riesgo, entonces, no es la inversión, que ocurre normalmente en muchas partes, sino la inversión en un área donde las concentraciones de contaminantes son muy elevadas. Veamos esto con más detalle.

En condiciones normales, el aire se hace más frío a medida que asciende en altura. La razón de este fenómeno se debe a que a mayores alturas la capa atmosférica sobre el observador es menor y, por lo tanto, la presión atmosférica se hace más baja. Recordemos ahora un principio sencillo del comportamiento de los gases: el aire se calienta al comprimirse y al descomprimirse se enfría (cualquiera que haya tocado el extremo del inyector de aire de una bicicleta conoce el fenómeno perfectamente). La explicación de los cambios de temperatura del aire con la altura es entonces relativamente sencilla: a nivel del mar el aire tiene más presión y, por

lo tanto, es más caliente. O sea que a mayor altura, menor temperatura del aire.

La velocidad a la cual una masa de aire se enfría cuando se descomprime, se conoce como el "gradiente adiabático" del aire. El valor del gradiente adiabático varía según la humedad de la atmósfera, con valores cercanos a 1°C cada 100 me-

tros, en atmósferas muy secas, hasta valores de 0.6°C a 0.3°C cada 100 metros en atmósferas saturadas de humedad. Se conoce como "perfil térmico" del aire a los valores reales que tiene la temperatura del aire a distintas alturas sobre el suelo, a una cierta hora del día. En mediodías soleados de verano, los rayos del sol calien-



Exequiel Ezcurra: Centro de Ecología, UNAM

tan tanto el suelo como la capa de aire cercana al mismo. Esta capa de aire caliente a nivel del suelo (responsable, entre otras cosas, de los "espejismos" que vemos en las carreteras), se encuentra en situación inestable desde el punto de vista físico. A medida que nos acercamos al suelo, el perfil térmico se calienta más rápidamente de lo que predice el gradiente adiabático (figura 1). Si una pequeña masa de esta capa sube, se enfriará según el gradiente adiabático (cerca de 1°C cada 100 metros), pero como estaba sobrecalentada originalmente, tendrá más temperatura que el aire que la rodea. Al estar más caliente estará más expandida, será más liviana y tenderá a subir como un globo aerostático. En días así hay propensión a formarse torbellinos y la atmósfera en general es turbulenta. Sobre las partes de suelo más caliente tienden a formarse corrientes de aire ascendente, conocidas como "corrientes térmicas". Estas corrientes térmicas son, en días soleados, las responsables de dispersar los contaminantes sobre la ciudad de México. El calor del sol sobre el concreto y el asfalto de la

ciudad, genera corrientes ascendentes que se llevan los contaminantes hacia arriba, donde se dispersan gracias a la circulación general de la atmósfera.

En las noches frías, en cambio, la situación se invierte, ya que la tierra no recibe radiación solar, pero emite calor (radiación infrarroja) hacia las capas superiores de la atmósfera y hacia el espacio exterior. Como consecuencia, el suelo se enfría, y se enfrían también las capas de aire más cercanas a la tierra. El perfil térmico, al revés que en días soleados, se invierte y las capas más frías se encuentran ahora cercanas al suelo. Por esa razón, el fenómeno ha sido descrito como "inversión térmica". La capa de aire frío a nivel del suelo se encuentra ahora en una situación estable, desde el punto de vista físico. Si una pequeña masa de esta capa sube, se enfriará según el gradiente adiabático, pero como estaba fría originalmente, tendrá menos temperatura que el aire que la rodea. Al estar más fría estará menos expandida, será más densa, y tenderá a bajar nuevamente. En noches de inversión térmica la atmósfera se mantiene quieta, desaparecen la turbulencia y los

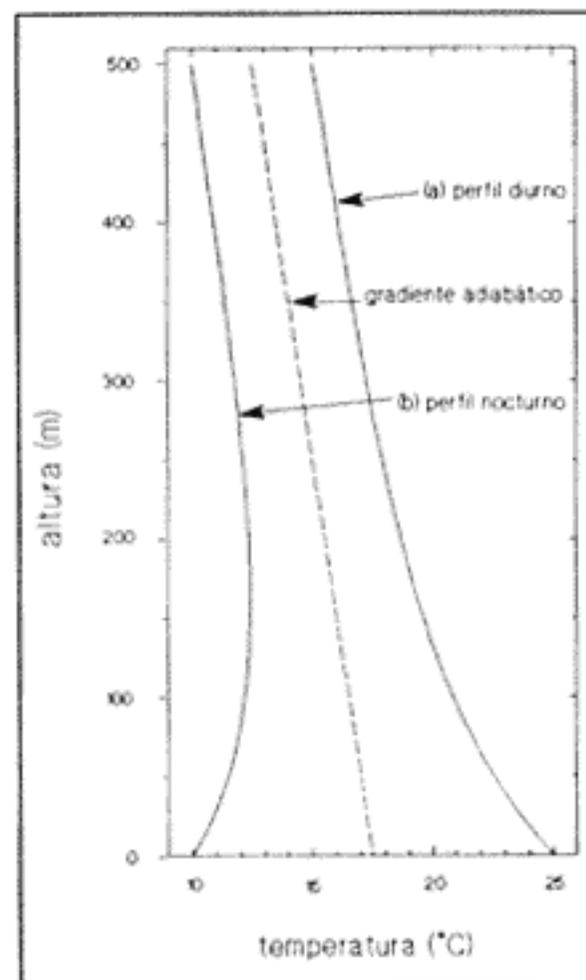


Figura 1. Dinámica de una inversión térmica. a. Durante el día la atmósfera se calienta más intensamente cerca del suelo de lo que predice el gradiente adiabático. Las capas inferiores de aire se encuentran en una situación termodinámica inestable, y tenderán a elevarse verticalmente. b. Durante la noche, la atmósfera se enfría cerca del suelo y las capas inferiores de aire se encuentran más frías de lo que predice el gradiente adiabático. Las capas de aire cercanas al suelo se encuentran termodinámica-mente estables y no tenderán a mezclarse por ascenso vertical.



movimientos verticales del aire. Los contaminantes no se dispersan hacia las capas superiores de la atmósfera, sino que se acumulan sobre la ciudad. Durante la mañana siguiente, el sol calentará nuevamente el suelo y con él, las capas de aire más bajas. En algún momento se invertirá el perfil térmico y el aire volverá a mezclarse por movimiento turbulento. El sol habrá iniciado su diaria rutina de elevación de los contaminantes hacia arriba y la ciudad podrá respirar nuevamente. A las 11 de la mañana, aproximadamente, en los días de inversión térmica, los servicios de información ambiental avisan que se ha "roto la inversión".

El requisito físico principal para que se presente una inversión, es una atmósfera clara y libre de humedad, que permita la disipación de calor —y el consecuente enfriamiento— de la superficie del suelo. La tierra emite radiaciones dentro del rango infrarrojo, pero el agua de las nubes es opaca a este tipo de radiación. Por lo

tanto, las capas inferiores de aire se enfrían más fácilmente en noches despejadas de invierno y aun en las de primavera (abril-mayo). La llegada de las lluvias a la ciudad de México genera una atmósfera saturada de humedad, y la frecuencia de inversiones disminuye sensiblemente (figura 2). Los meses con más frecuencia de inversiones son, obviamente, los meses de invierno, donde se conjugan las bajas temperaturas con la temporada de secas. La altura a la que comienza a invertirse el perfil térmico es también importante. Cuanto más baja sea la inversión, más fácilmente se romperá durante el día. En los eventos de inversión más severos, ésta comienza a más de 400 metros sobre el suelo de la ciudad. La mayor parte de las inversiones, sin embargo, comienzan a cerca de 200 metros sobre el suelo, y algunas inversiones leves lo hacen a menos de 100.

Por supuesto, el fenómeno de inversión del perfil térmico ocurre en todas partes, no solo en las ciudades, pero se convierte en serio motivo de preocupación y de estudio, en zonas como la ciudad de México, donde, para eliminar los contaminantes del aire, es crucial la turbulencia atmosférica. Un factor adicional que hace que el fenómeno sea crítico en la cuenca de México, lo son las montañas que rodean a la ciudad, porque impiden el movimiento lateral del aire, que es el segundo mecanismo de eliminación de contaminantes atmosféricos. La presencia de cadenas montañosas periféricas dificulta el desplazamiento horizontal de las masas de aire y, en consecuencia, en la cuenca de México los vientos son muy leves y no actúan como dispersores alternativos, cuando la turbulencia atmosférica vertical deja de operar. Así, en las noches de invierno el aire sobre la ciudad funciona de manera similar a los congeladores abiertos que hay en algunas tiendas y supermercados. El aire frío, adiabáticamente estable, no tiende a subir ni a mezclarse con el aire caliente de arriba y se mantiene dentro del recipiente horizontal que lo contiene. Dicho de otra manera, el aire frío funciona casi como un líquido: es más denso y pesado que el aire caliente, y se mantiene en forma estable dentro de su recipiente. En días de inversión térmica, la cuenca de México, rodeada de montañas, funciona como un recipiente que contiene al aire frío sobre la ciudad.

Muchos ciudadanos viven con preocupación por el hecho de que tenga que ser el

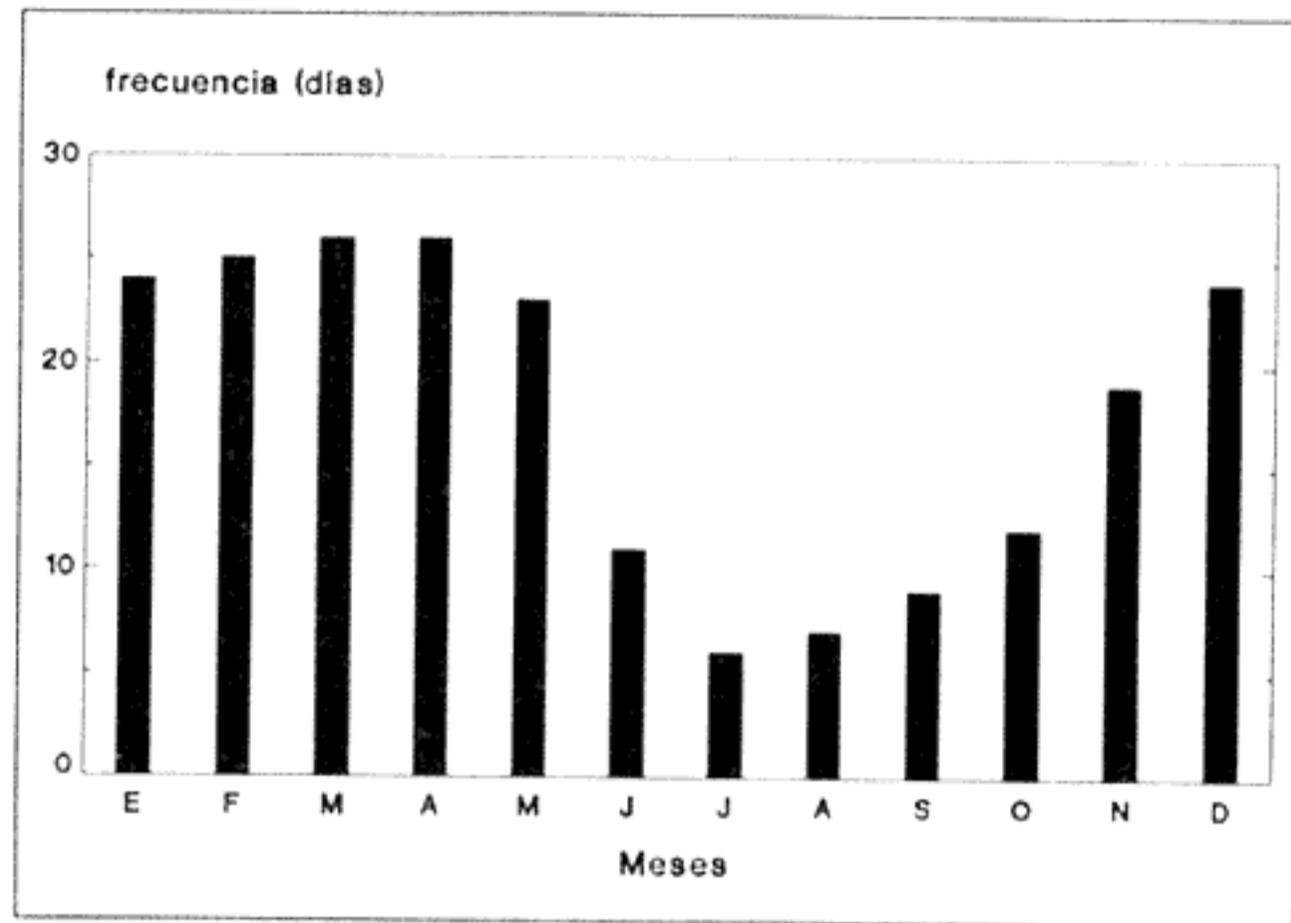


Figura 2. Frecuencia de inversiones térmicas sobre la Ciudad de México. Las barras indican el número de noches al mes en las que se observan inversiones del perfil térmico de la atmósfera. Aun en primavera (abril y mayo) el fenómeno ocurre con mucha frecuencia. El incremento de nubosidad asociado a las lluvias de verano (junio-octubre), impide el enfriamiento nocturno y disminuye sensiblemente la frecuencia de inversiones térmicas. (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional, años 1953-1960, y SEDUE, años 1978-1985.)

sol matutino, el que rompe la inversión y disperse los contaminantes acumulados. ¿Qué pasaría si en un invierno particularmente frío el sol no alcanzara a romper la inversión durante la mañana y se acu-

mularan contaminantes sobre la cuenca durante varios días? La perspectiva es aterradora. Sabemos que en Londres ocurrió algo semejante en 1957, y el trágico saldo final fue de miles de muertos. ♦

