

Inversión térmica

José Luis VALER MURILLO

Colaborador de la Delegación Territorial de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en Castilla y León

Resumen: La inversión térmica es un fenómeno atmosférico que se produce generalmente en un estado de altas presiones, incluso relativas, dando lugar a una acusada diferencia de temperaturas en distintos niveles. Hay que considerarlo a gran escala, ya que en el interior de las masas continentales se produce en extensiones que abarcan hasta cientos de miles de kilómetros cuadrados. En el mar no se alcanza suficiente estabilidad para que ocurra este fenómeno y la transferencia de energía entre el agua y el aire impide amplias oscilaciones térmicas.

Palabras clave: anticiclón; oscilación térmica.

1. INTRODUCCIÓN

En un estado de estabilidad atmosférica, generalmente por la noche, la inversión térmica implica la formación de dos capas de aire, una fría en niveles bajos y otra cálida inmediatamente por encima. En una situación de calma total la inversión térmica puede prolongarse incluso por el día en invierno, a veces asociada a nieblas persistentes. La capa de aire frío al nivel del suelo es bastante más delgada que la capa cálida, ya que el estrato frío no suele superar un grosor de 250 metros, aunque esta cuestión es muy variable según las condiciones. El descenso de la temperatura se acentúa en las depresiones que coinciden con las cuencas de los ríos.

La capa cálida alcanza un considerable grosor que, a veces, supera ampliamente los 2000 metros de altitud sobre el nivel del mar cuando la inversión de aire frío se produce sobre una meseta de altitud media. En las mesetas del centro de Asia se pueden producir fenómenos de inversión térmica a más de 3000 metros de altitud que dan lugar a temperaturas sumamente bajas. Lo mismo ocurre en las zonas más elevadas de la Antártida, donde se originan las temperaturas más bajas de la Tierra por este fenómeno.

En una situación de inversión térmica las temperaturas más bajas se alcanzan en las vaguadas que existen en las zonas amplias de meseta abierta, que no siempre coinciden con las áreas de nieblas persistentes a menor altitud. En las zonas menos elevadas es donde se pueden producir las temperaturas diurnas más bajas por la presencia de nieblas; en cambio, las temperaturas mínimas más bajas se generan en las depresiones de las mesetas en ausencia de niebla por la noche. Con una extensa inversión térmica bien establecida se puede alcanzar una variación de temperatura superior a 8 grados en un desnivel de tan solo 200 metros y que puede llegar incluso a los 15 grados al considerar un desnivel de 600 a 1000 metros. La capa cálida no tiene la misma estabilidad que la fría y se puede observar una ligera brisa que se desliza sobre el estrato frío inferior sin conseguir levantarlo a lo largo de la noche. Al ser dos capas de aire muy diferenciadas existe una zona de transición que no supera los 50 metros de grosor. En esta zona de transición comienza a aumentar la dinámica y la circulación horizontal del aire y se produce un súbito aumento de la temperatura respecto a la zona situada algo más abajo. Esto significa que la capa fría de inversión al ser batida por encima por una brisa más cálida varía constantemente su grosor y estructura dependiendo de la velocidad del viento en altura. Si la inversión se forma en una meseta a una altitud intermedia, a partir de 2000 metros aproximadamente se observa una intensa circulación horizontal que impide que el aire caliente siga ascendiendo. A partir de dicha cota, aunque de forma muy relativa según las condiciones, la temperatura desciende en relación a la

altitud. No obstante, hay que tener en cuenta otro tipo de dinámicas en las capas altas con la consiguiente variación de temperatura a la baja y al alza según niveles. La capa cálida desplazada por la inversión térmica no tiene límites definidos en su parte superior debido a la fuerte circulación horizontal. En cualquier caso, el estrato cálido no suele superar los 2500 metros de altitud en España con un fuerte anticiclón.

La capa fría inferior, mucho más densa por la variación térmica, resulta inamovible por la brisa cálida superior, siempre y cuando la velocidad del viento no alcance ciertos niveles críticos, lo que generalmente no ocurre hasta el mediodía y no siempre de forma completa. Con anticiclón y estabilidad atmosférica incluso las temperaturas máximas diurnas pueden ser más bajas en las cuencas de los ríos que en las montañas de altitud moderada aunque no haya niebla. Esto significa que la capa de inversión térmica puede llegar a ser persistente a lo largo de todo el día en invierno aunque la presencia de la radiación solar promueva una amplia oscilación térmica y cierta circulación en superficie. Esto es más habitual en zonas de clima continental de latitudes altas, cuyos mejores ejemplos se pueden observar en el norte de Asia. Efectivamente, cuando hay anticiclón la oscilación térmica entre el día y la noche puede superar ampliamente los 20 grados en las depresiones de las zonas de meseta. Sin embargo, la oscilación térmica en las montañas es muy reducida. Esto conlleva que las temperaturas más bajas en las montañas se alcancen por advección por la entrada de vientos fríos con una fuerte circulación horizontal. No obstante, en las llanuras las temperaturas más bajas se suelen originar por inversión térmica. Cuando no hay inversión térmica y existe una fuerte circulación en todos los niveles la temperatura desciende directamente en relación a la altitud (en torno a un grado cada 160 metros de media).

En verano la inversión térmica se observa solo por la noche y en áreas menos extensas que en invierno. Esto es debido a la intensa radiación solar que genera mayor circulación en superficie a lo largo del día incluso con altas presiones y por las constantes corrientes convectivas de aire caliente que dan lugar a las tormentas en determinadas circunstancias.

2. LA INVERSIÓN TÉRMICA EN ESPAÑA

Cuando hay altas presiones existen numerosas zonas en las que la inversión térmica resulta muy acusada respecto a las montañas del entorno. La sensación térmica no varía en gran medida debido al aumento de la velocidad del viento con la altitud. En ausencia de altas presiones lógicamente baja más la temperatura en las montañas. En zonas elevadas se forman heladas por advección fundamentalmente con fuertes vientos del norte.

Como ejemplo, cabe citar los datos comparativos en tres fechas elegidas al azar en abril de 2024 con altas presiones relativas. En este análisis comparativo se relacionan las temperaturas mínimas de tres jornadas consecutivas en Cuéllar, Molina de Aragón y Martinet respecto a las mínimas de las montañas del entorno. Se trata de tres pueblos donde es habitual la inversión térmica de forma acusada con altas presiones. Para este análisis comparativo se han recogido datos en tres sistemas montañosos: sistema Central, Ibérico y Pirineos, mostrando que en todos ellos se produce el mismo fenómeno al variar el nivel altimétrico. Cuanto mayor es la presión atmosférica y mayor la estabilidad del aire, mayor es el contraste de temperatura en distintos niveles de altitud. En el caso de Molina de Aragón se observa una apreciable diferencia en la temperatura mínima respecto al observatorio del Pedregal en tan solo 123 metros de desnivel. Si se compara con Navacerrada en las mismas fechas la diferencia es aún mayor. En el caso de Martinet, en el Pirineo catalán, existe una importante diferencia de altitud de 1372 metros respecto al observatorio de Port Ainé a 2410 metros, a pesar de lo cual en determinadas ocasiones y con altas presiones baja más la temperatura en los valles bajos pirenaicos. El día 10 de abril de 2024, dos días antes de las fechas establecidas para la comparación, hubo una temperatura mínima de $-7,4$ en Port Ainé y de $-1,8$ en Martinet. Ese día hubo viento del norte en la zona y descendió

más la temperatura en las montañas por advección. Con esta situación la elevada velocidad del viento en las montañas incrementa en gran medida la sensación térmica.

Abril de 2024:	
Cuéllar (795 m)	Navacerrada (1893 m)
Día 12: mínima 2,2	Día 12: mínima 8,4
Día 13: mínima 3,8	Día 13: mínima 9,8
Día 14: mínima 4,6	Día 14: mínima 10,5
Molina (1062 m)	El Pedregal (1185 m)
Día 12: mínima -0,5	Día 12: mínima 3,5
Día 13: mínima 0,6	Día 13: mínima 5,5
Día 14: mínima 2,3	Día 14: mínima 6,8
Martinet (1038 m)	Port Ainé (2410 m)
Día 12: mínima 0,1	Día 12: mínima 3,1
Día 13: mínima 2,3	Día 13: mínima 7,5
Día 14: mínima 4,3	Día 14: mínima 7,7

3. FUNDAMENTOS FÍSICOS

La inversión térmica deriva de un complejo fenómeno físico que afecta a los gases y los fluidos. A menor temperatura, mayor densidad en un gas o fluido a una misma presión, lo que significa que los átomos se encuentran más próximos entre sí cuanto menor es su estado energético y los electrones en órbitas más bajas en los mismos. En consecuencia, en el aire los átomos con menor estado energético tienden a descender en una situación de estabilidad constituyendo una capa de mayor densidad que se invierte por su propio peso. Este efecto se intensifica por la noche cuando el aire se enfría progresivamente y los átomos disminuyen su estado energético; no tanto por contacto con un suelo que se enfría porque hay que tener en cuenta que el aire se enfría de forma independiente mucho más deprisa que el suelo en ausencia de radiación solar.

En el observatorio de Espejo de Tera (Soria) el 20 de mayo de 2024 se registraron las siguientes temperaturas en el aire (en el interior de la garita termométrica) y en el suelo a 10 cm de profundidad:

- aire: máxima 15,3 / mínima 1,9;
- suelo: máxima 18,5 / mínima 10,9.

En la máxima hay 3,2 grados de diferencia y en la mínima 9,0, lo cual indica que el aire se enfría mucho más deprisa que el suelo.

De hecho el suelo siempre emite radiación infrarroja de intensidad variable dependiendo de su temperatura a lo largo de toda la noche y, sin embargo, el aire más frío se encuentra por inversión siempre en una delgada capa de menos de 5 centímetros en contacto directo con el suelo. Es precisamente allí donde se encuentran invertidos los átomos con un estado energético más bajo a pesar de la radiación infrarroja que emite el suelo. Los fotones de esta radiación de baja frecuencia han de aumentar ligeramente el estado energético de los átomos del aire con los que inciden. Sin embargo, tiene más preponderancia el efecto de inversión térmica en el estado energético predominante de los átomos que se encuentran a corta distancia del suelo. Al estar el aire mucho más frío que el suelo es este último el que da lugar a una transferencia de calor entre ambos medios. Este efecto es distinto al que se produce en los cuerpos sin atmósfera como la Luna. Allí los rayos infrarrojos escapan directamente al espacio prácticamente sin interactuar

con una atmósfera mediadora. En cambio, en la Tierra una parte de la radiación infrarroja que emite el suelo por la noche interacciona con los átomos del aire y no todos los fotones escapan directamente al espacio.

Otro factor a tener en cuenta en la inversión térmica, y el más importante de todos, es la gravedad, ya que comprime y estabiliza en mayor medida el aire en la zona baja de la atmósfera. La gravedad es la causa directa de la inversión de los átomos con menor estado energético y su posterior estabilización al nivel del suelo.

Todo ello supone que los gases del aire en sus formas moleculares (principalmente N_2 y O_2) adquieren mayor densidad al disminuir la temperatura, con tendencia a invertirse debido a la gravedad las moléculas con menor estado energético en la zona baja de la atmósfera en condiciones de estabilidad por la noche. Es algo análogo a lo que ocurre con los gases de alto peso molecular que se deslizan al nivel del suelo, como en el caso de las emisiones masivas naturales de CO_2 (como ocurrió en el desastre del lago Nyos), y también de otros gases pesados de fuentes tanto naturales como artificiales, que en su avance llegan a desplazar el aire al nivel del suelo acumulándose en zonas bajas.

REFERENCIAS

AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET). Banco de datos.