

152

Simple + física



Estelas blancas que surcan el cielo azul

(13 – 17 diciembre 2010)

Si miramos al cielo, es habitual observar la blanca estela que dejan los aviones sobre el fondo azul. ¿A qué se debe este fenómeno?



AVISO: El objeto de **Simple+mente física** no va más allá del placer que proporciona plantearse y resolver sencillas cuestiones razonando (y experimentando) de acuerdo con principios básicos de la física. No hay ningún tipo de compensación, excepto la satisfacción personal y no van dirigidas a ningún grupo de personas en particular (es decir, están abiertas a todo el mundo).

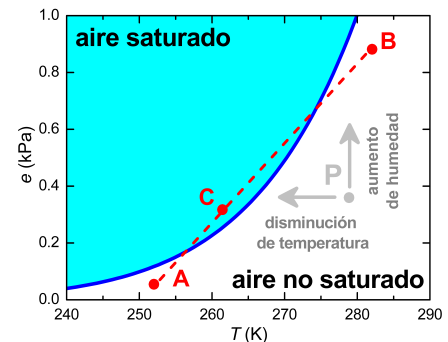
El primer día hábil de cada semana se presentará una nueva cuestión y la respuesta a la cuestión de la semana anterior.

Rafael Garcia Molina, Departamento de Física - CIOyN, Universidad de Murcia (rgm@um.es)

<http://bohr.inf.um.es/miembros/rgm/s+mf/>

Resp.: Las estelas blancas que se forman tras los aviones se denominan estelas de condensación¹ y no son otra cosa que nubes producidas por la condensación de vapor de agua (el que hay en la atmósfera y el que aportan los gases de la combustión que salen del motor del avión). Las gotitas de agua que se forman en estas estelas dispersan y reflejan la luz en todas las direcciones, por lo que se ven de color blanco. Veamos seguidamente las condiciones en las que se produce las estelas de condensación tras los aviones.

La cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera, que es variable, se cuantifica mediante la denominada “presión de vapor”. En la figura adjunta se muestra la presión de vapor (en el eje vertical) frente a la temperatura (en el eje horizontal) correspondiente al agua. La línea curva representa la ecuación de Clausius-Clapeyron, que relaciona la temperatura y la presión de saturación del vapor de agua; como puede comprobarse, el aire caliente puede contener más vapor de agua (más humedad, por tanto) que el aire frío. Esta curva delimita las condiciones de presión de vapor y de temperatura en las que el agua existe en fase condensada (a la izquierda de la curva) o en fase gaseosa (a la derecha de la curva). A la izquierda de dicha curva, el agua está saturada, por lo tanto, condensa en gotas; a la derecha de la curva, el agua existe en fase gaseosa en la atmósfera.



El aire por donde circula el avión contiene agua en fase gaseosa y no forma nubes, pues no está saturado de vapor de agua. Una masa de aire que se halla a cierta temperatura y no está saturada se representa por un punto a la derecha de la curva de saturación (por ejemplo, el punto P) y puede alcanzar la saturación mediante los tres procesos que se detallan a continuación.

(i) Por adición de humedad. Al aumentar la humedad de la masa de aire se produce un aumento en su presión de vapor, por lo que tiene lugar un desplazamiento vertical desde el punto inicial hacia arriba, llegando a cruzar la curva de saturación, según se representa en la figura mediante la flecha vertical.

(ii) Por enfriamiento. En este caso, la disminución de temperatura provoca un desplazamiento horizontal desde el punto inicial hacia la izquierda, hasta cruzar la curva de saturación, tal como se representa en la figura mediante la flecha horizontal.

Estos dos procesos deben descartarse como causa de las estelas que se observan tras los aviones, pues los gases de la combustión ni producen un descenso de la temperatura² ni aportan suficiente humedad para saturar el aire.

(iii) El tercer proceso que puede dar lugar a la saturación del aire consiste en la mezcla de dos masas de aire que no están saturadas, tales como las representadas por los puntos A y B de la figura. La temperatura y la presión de vapor de la mezcla serán los valores medios ponderados de las temperaturas y presiones de vapor iniciales: $T = (m_A T_A + m_B T_B) / (m_A + m_B)$ y $e = (m_A e_A + m_B e_B) / (m_A + m_B)$, respectivamente. Si el punto C representativo de la mezcla resultante de las dos masas de aire está situado a la izquierda de la curva de saturación, se producirá condensación del vapor de agua en forma de gotitas. Esto es lo que sucede en la formación de las estelas de los aviones, donde el punto A corresponde al aire en el entorno donde se halla el avión, mientras que el punto B representa el aire que sale del motor del avión. Este último procede del aire ambiente que entra en el motor y, como resultado de la combustión, lo abandona más caliente y con más vapor de agua.

Por lo tanto, las estelas de condensación se deben a la mezcla de dos masas de aire no saturadas: la de la atmósfera y la procedente de los gases de la combustión del motor del avión. Además, los pequeños residuos sólidos que se emiten en la combustión actúan como núcleos sobre los cuales se condensan las gotitas de agua, que son visibles porque dispersan la luz blanca en todas las direcciones.

La mezcla de dos masas de aire no saturadas también explica esas nubes blanquinosas (“nubes de condensación”) que se observan en días fríos. Por ejemplo: al exhalar vaho, sobre la superficie de bebidas o sopas calientes, en los gases que emiten los tubos de escape de los coches, en los penachos de vapor de agua que salen de las grandes chimeneas o las típicas imágenes de las alcantarillas neoyorquinas que aparecen en muchas películas...

¹ En inglés se conocen como *contrails*, que es la abreviatura de *condensation trails*.

² La posible expansión adiabática de los gases al salir del motor no daría lugar a un reducción de temperatura suficiente para producir la condensación.