

## **Estelas de condensación**

### **1. ¿Qué son y cómo se forman?**

Las estelas de condensación son nubes de hielo, en forma de largas líneas, que surgen en ocasiones al paso de un avión, por condensación del vapor de agua contenido en las emisiones de los motores. A veces también se forman otro tipo de estelas en la punta de las alas, por condensación del vapor atmosférico a causa de la bajada de presión y temperatura que se produce al paso del avión, pero estas últimas suelen ocurrir en el despegue y el aterrizaje, no durante el vuelo en niveles altos, y duran mucho menos.

Los motores de los aviones emiten vapor de agua, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), hidrocarburos, monóxido de carbono, gases de azufre y partículas de hollín y metal. De todos estos gases y partículas, el vapor de agua es lo único relevante para la formación de estelas.

Para que se formen las grandes estelas tras los aviones en ruta son necesarias unas condiciones de temperatura y humedad determinadas, que permitan que se produzca la condensación del vapor de agua emitido por los motores. Los gases de azufre pueden ayudar, porque facilitan la formación de pequeñas partículas que pueden actuar como núcleos de condensación, pero, en general, de todas formas hay suficientes partículas que sirven como núcleos de condensación en la atmósfera. El resto de los gases y partículas emitidos por el motor de los aviones no influyen en la formación de las estelas.

Cuando los gases que emite el avión se mezclan con el aire circundante, se enfrían rápidamente y, si la humedad en la atmósfera es suficiente para que la mezcla alcance la saturación, se producirá la condensación del vapor de agua. El nivel de humedad de la mezcla, es decir, el que se llegue a la saturación o no, dependerá de la temperatura y humedad del aire, así como de la cantidad de vapor de agua y la temperatura de las emisiones del avión.

El siguiente póster de la NASA explica muy bien, en español, el proceso de mezcla de los gases expulsados por los motores y el aire circundante, y las condiciones en que se forman las estelas. El enlace al documento original ya no está disponible en internet, no obstante se adjunta como documento pdf anexo.

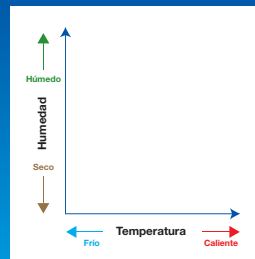
# Carta de Identificación y Guía de Formación de las Estelas de Vapor

¿Te has preguntado alguna vez lo que son esas líneas en el cielo? Las estelas de condensación son nubes que se forman cuando el vapor de agua se condensa y congela alrededor de partículas (aerosoles) que se dan en el escape de aeronaves. Esta tabla explica cómo y por qué se dan. Sigue los paneles 1-7 bajo estas líneas para aprender a leer el cielo.

Las nubes son la mayor variable controladora de la temperatura y clima de

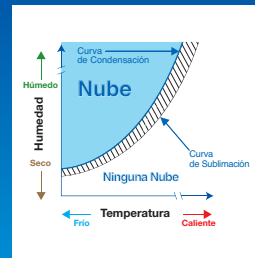
la atmósfera terrestre. Cualquier cambio en la masa nubosa global puede contribuir a cambios a largo plazo en el clima terrestre. Las estelas, en especial las persistentes, representan un incremento de nubes en la tierra causadas por el hombre, y casi seguro están afectando el clima y a ulterior nuestros recursos naturales. Hoy en día, los científicos están intentando aprender más sobre la longevidad de las estelas persistentes y la manera en que pueden afectar el clima en el futuro.

1 Preparando el gráfico de las condiciones de las estelas.



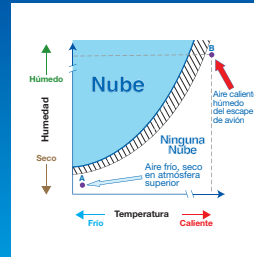
El eje X (eje horizontal) representa la temperatura y el eje Y (eje vertical) representa la cantidad de humedad en la atmósfera.

2 Donde el agua cambia de estado.



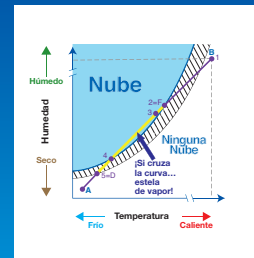
El área azul en sombra (fría y húmeda) muestra las condiciones donde la condensación (de gas a líquido) ocurre en la atmósfera. Debido a que hace frío donde los aviones vuelan, cualquier gota de agua que se forme en el escape de la nave, se transformará en hielo (de líquido a sólido) al poco de formarse. El área a rayas muestra donde el hielo permanecerá. En el área blanca, el hielo se sublimará (de sólido a gas).

3 Típicos puntos de inicio, A y B.



La atmósfera despejada en la altitud elevada es normalmente fría y seca (punto A). El escape de la nave está caliente y húmedo (punto B).

4 El proceso de mezclado empieza en B y sigue hacia A.



1. El escape húmedo y caliente de la aeronave se enfría al mezclarse con el aire hasta que alcanza la saturación en la curva de condensación.
2. (= F Formación de la estela)
3. Las gotas de agua se congelan y cristalizan
4. Las gotas de agua se evaporarían, pero los cristales de hielo persisten.
5. (= D Disipación de la estela) los cristales de hielo se subliman, y la estela se disipa.

5 Pasajeras



La estela que se forma y desaparece a medida que el avión pasa. Aunque su longitud permanece casi constante, puede ser muy corta o puede llegar a ocupar una porción grande del cielo. Generalmente es muy delgada.

6 Persistentes



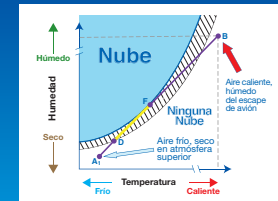
Una estela fina que permanece en el cielo tras haber desaparecido la nave. Estas estelas no son mucho más anchas que las pasajeras y son más delgadas que el grosor de un dedo sostenido a la distancia del brazo extendido.

7 Persistentes que se expanden.



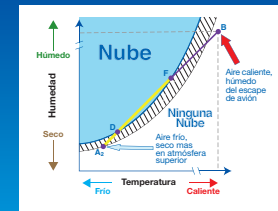
Una estela gruesa que permanece en el cielo tras haber desaparecido el avión. Estas son más anchas que el grosor de un dedo sostenido a la distancia del brazo extendido. Estas estelas pueden dispersarse hasta parecer cirros de formación natural.

Estelas en aire seco → estelas pasajeras



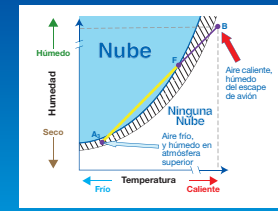
El escape del avión se mezcla con el aire de la atmósfera a lo largo de la línea entre los puntos B y A. Una estela se forma en el punto F y persiste hasta el punto D. Cuando la línea recta entre los puntos A y B tan apenas se cruza con la curva de condensación, se forma una estela de vapor pasajera.

Estelas en aire frío → estelas persistentes



Cuando el punto A es tal que la línea recta entre los puntos B y A, se cruza más allá del área de condensación, y A está más cerca de la curva de sublimación, una estela más larga y duradera, o persistente se forma entre F y D.

Estelas en aire húmedo → estelas persistentes que se expanden



Cuando el punto A está en la zona rayada (aire húmedo), la adición del escape caliente y húmedo del avión lleva a la formación de estelas persistentes, posiblemente que se expanden ya que las partículas de hielo formadas en el punto F no se sublimarán en el punto A.

## 2. ¿Es correcto denominarlas *chemtrails*?

En inglés, la palabra correcta es *contrails* (abreviatura de *condensation trails*, estelas de condensación). El término *chemtrails* (abreviatura de *chemical trails*, estelas químicas) es el empleado por los seguidores de la teoría que afirma que desde los aviones se están lanzando productos químicos con el objetivo de modificar artificialmente el tiempo.

## 3. ¿Existe consenso científico sobre la posible existencia de un programa atmosférico secreto de gran escala?

Un estudio de la Universidad de California, *Quantifying expert consensus against the existence of a secret, large-scale atmospheric spraying program* (Christine Shearer, Mick West, Ken Caldeira and Steven J Davis, Environmental Research Letters, Volume 11, Number 8, 10 agosto 2016), accesible [aquí](#), presentaba la opinión de 77 científicos expertos en química atmosférica o en geoquímica. 76 de ellos no encontraron ninguna evidencia de un *secret large-scale atmospheric program* (SLAP), o programa atmosférico secreto de gran escala, y el número 77 refirió, como única evidencia que no podía explicar, altos niveles de bario atmosférico en una zona remota sobre un terreno con bajos niveles de bario.

## 4. ¿Hay distintos tipos de estelas?

Una vez que se forma una estela, su evolución depende de las condiciones atmosféricas. Así, podemos ver los tres tipos de estelas que se mencionan en el póster:

- Estelas de vida corta: son pequeñas líneas blancas que vemos detrás del avión, y que desaparecen casi tan rápido como pasa la aeronave. Ocurren cuando la cantidad de vapor de agua en la atmósfera es pequeña, y entonces las partículas de hielo que forman la estela vuelven al estado gaseoso rápidamente.
- Estelas persistentes que no se extienden: son largas líneas blancas, que permanecen después de que ha pasado el avión, pero no crecen ni se expanden. Ocurren cuando la humedad en la atmósfera es grande, por lo que la estela no se evapora (más precisamente, no se sublima), y puede durar horas.
- Estelas persistentes que se extienden: son líneas que van engordando y haciéndose más anchas y de forma irregular a medida que la nube crece. Esto ocurre cuando la humedad en la atmósfera es muy próxima al nivel de condensación, y es fácil que el vapor de agua atmosférico se condense sobre las partículas de hielo de la estela. Si además hay algo de inestabilidad y turbulencia, las estelas van tomando una forma irregular. Estas estelas, además, pueden ser desplazadas por el viento.

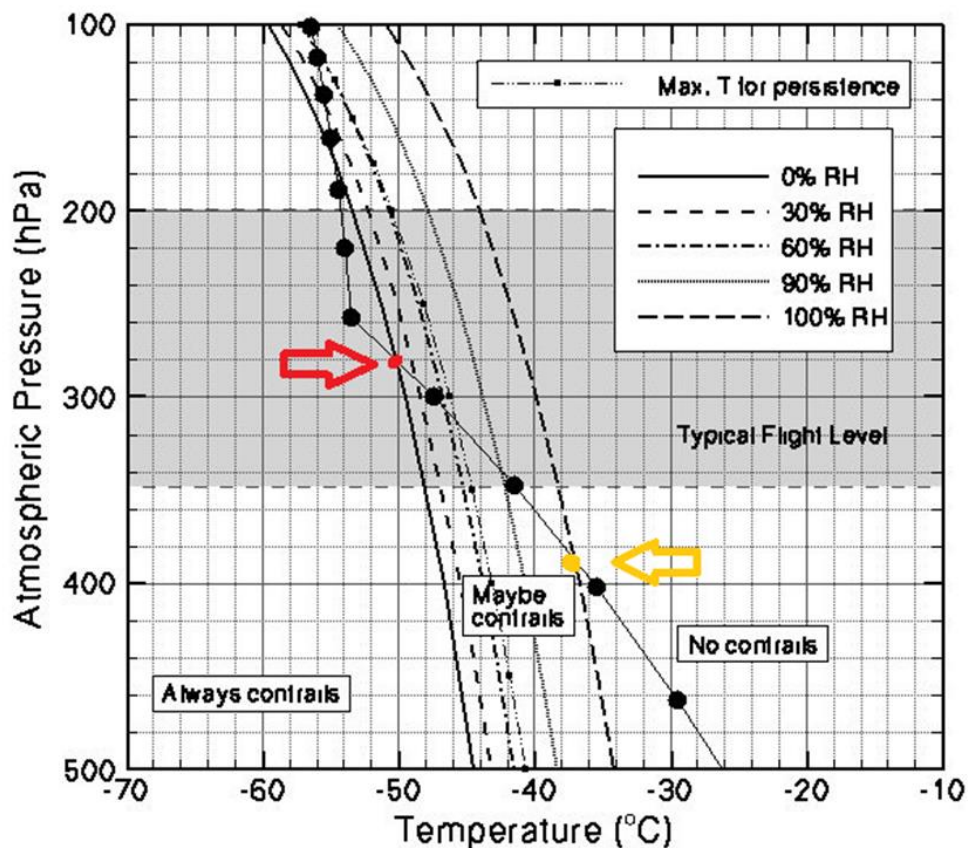
## 5. ¿Es técnicamente viable fabricar estelas que no sean de vapor de agua?

Según la estimación de David Incertis en el blog *500 euros por un chemtrail*, si las estelas consistieran en compuestos metálicos dispersados desde aviones, para obtener una estela de las dimensiones de las estelas persistentes, haría falta dispersar una cantidad tal de material cuyo peso ningún avión sería capaz de transportar. Véase la referencia al final.

## 6. ¿Es posible predecir las estelas?

Las primeras referencias de estelas de condensación se tienen hacia finales de la primera guerra mundial, cuando los aviones fueron capaces de volar a las altitudes a las que se dan las condiciones para su formación. Hasta principios de la segunda guerra mundial, se consideraron poco más que una curiosidad, pero durante la guerra las estelas pasaron a ser un tema de mucho interés, porque podían delatar a un avión. Así, en distintos países se empezaron a investigar las causas y condiciones para su formación. En 1953 el norteamericano Appleman publicó un gráfico que permitía, conociendo las condiciones de temperatura y humedad en altura, determinar si se formarían estelas, y a qué niveles.

Temperature Profile: Mid-Latitude Winter





En la figura, la línea que une los puntos negros representa el perfil atmosférico de temperaturas típico en invierno en latitudes medias. En estas condiciones, las estelas son posibles (si la humedad en la atmósfera circundante es suficiente) por encima del nivel de 400hPa, que equivale a una altitud de unos 7 km. (punto marcado en amarillo) y son cada vez más probables en niveles superiores, hasta ser prácticamente seguras (incluso con una humedad en la atmósfera del 0%) por encima de los 280 hPa, aproximadamente (punto marcado en rojo), es decir, algo por encima de los 9 km. de altitud.

## 7. ¿Hay razones para preocuparse por las estelas de los aviones?

Aparte del interés estratégico para los vuelos militares, las estelas de condensación persistentes sí tienen hoy en día relevancia en el campo de la predicción, particularmente en la predicción del clima a largo plazo. Un trabajo científico estimó, en 1998, que la cobertura nubosa creada por el hombre a partir de las estelas de los aviones era del 0,1% de la superficie del planeta, y esto sin contar los cirros de evolución a partir de las estelas más persistentes. Además, es de prever que el crecimiento del tráfico aéreo y los avances tecnológicos de los motores hagan aumentar este porcentaje.

El impacto de las estelas es visible a veces desde los satélites meteorológicos, como podemos comprobar en esta imagen del satélite Terra de la NASA que nos mostraba @meteosojuela en un tuit, acompañada de sus fotos del cielo desde La Rioja.



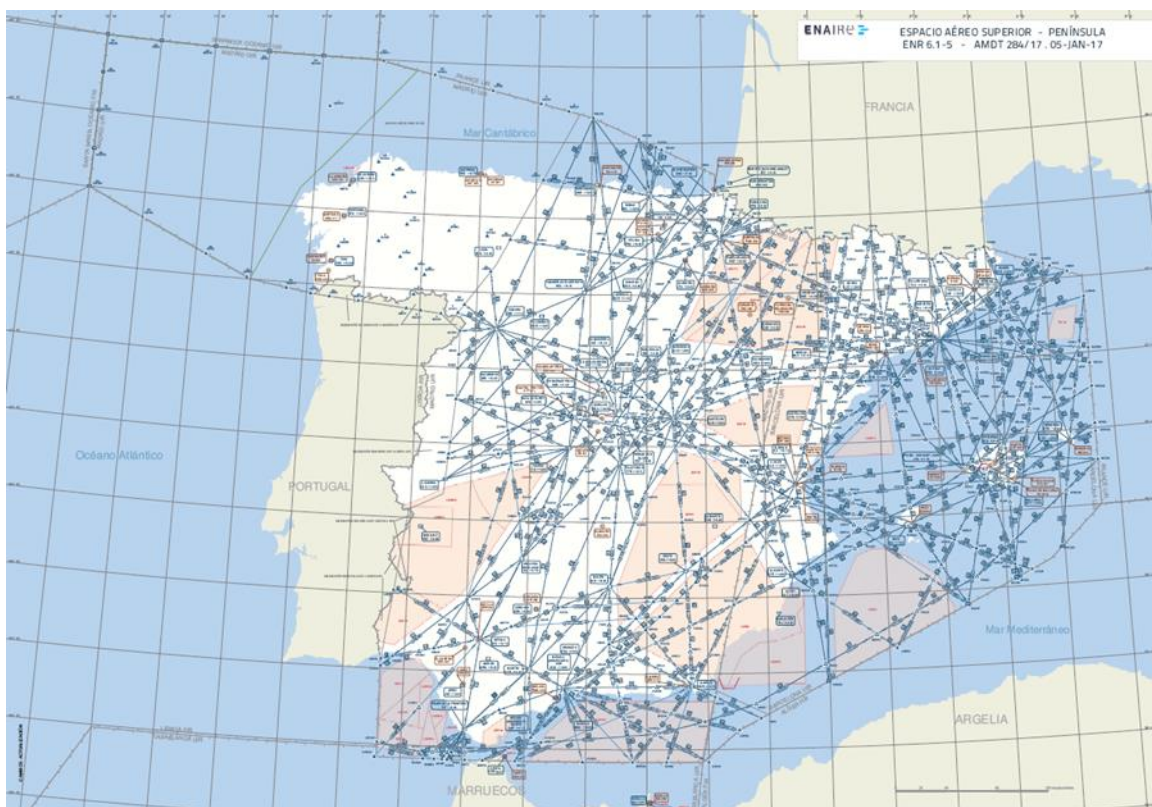
Un informe de 1999 del IPCC sobre el impacto de la aviación en la atmósfera,

IPCC Special Report. Aviation And The Global Atmosphere, accesible [aquí](#), afirma que hay estudios que han encontrado una correlación entre el aumento de la cobertura nubosa de cirros y las emisiones de aeronaves. En promedio, el 30% de la superficie de la Tierra está cubierta de cirros. Un aumento de la cobertura nubosa de cirros tendería a aumentar la temperatura global superficial. Por tanto, el aspecto de las estelas de condensación del que tiene fundamento preocuparse es su posible impacto en el aumento de temperatura global.

Las estelas en sí, son simples nubes de hielo, que no pueden envenenarnos, como temen algunos, sin embargo, el impacto de la aviación en la naturaleza es complejo, pero indudable, y no debemos minusvalorar sus consecuencias en el futuro del planeta.

### 8. ¿Por qué las estelas a veces se cruzan y en ocasiones incluso parecen formar una malla en el cielo?

La explicación está en el entramado que forman las aerovías establecidas para la navegación aérea, como se puede apreciar en el mapa de aerovías en el espacio aéreo superior de ENAIRE (accesible en la página del Servicio de Información Aeronáutica, AIS>AIP>ENR, [aquí](#))



## **9. Entonces, ¿las emisiones de los motores de los aviones no producen ningún daño?**

Con estelas o sin estelas, las emisiones de los aviones son en sí una fuente de gases de efecto invernadero y de partículas contaminantes que no se puede ni mucho menos despreciar. El mencionado informe del IPCC sobre el impacto de la aviación en la atmósfera de 1999 estimaba que las emisiones de los motores asociadas al tráfico aéreo suponen el 3,5% del impacto de todas las actividades humanas en el cambio climático. Para hacernos una idea de la densidad del tráfico aéreo, este video de la Zurich School of Applied Sciences, *A Day in the Life of Air Traffic Over the World*, nos muestra el tráfico en todo el globo en un día: <https://youtu.be/G1L4GUA8arY?list=PL3416E39D02A5BFE9>

### **Algunas referencias (la mayoría en inglés):**

[“Contrails” \(NASA\)](#)

[“Aircraft Contrails Factsheet” \(United States Environmental Protection Agency, EPA\)](#)

[“Contrails 101” \(Federal Aviation Administration\)](#)

[“Perturbaciones climáticas y esporádicas causadas por los aviones”, Juan M<sup>a</sup> Cisneros](#)

[Carta de identificación y guía de formación de las estelas de vapor, NASA. Documento pdf anexo: Contrail\\_ID\\_Chart\\_Spanish\\_2014\\_4.pdf](#)

[Quantifying expert consensus against the existence of a secret, large-scale atmospheric spraying program](#), Christine Shearer, Mick West, Ken Caldeira and Steven J Davis, Environmental Research Letters, Volume 11, Number 8, 10 agosto 2016.

Post de Xavier Giménez Font en el blog de la revista Investigación y Ciencia: [¿Nos envenenan desde los cielos?](#)

Post de David Incertis en el blog *500 euros por un chemtrail*: [Por qué los chemtrails de metales no pueden existir](#)