

Estelas

Trazos en el cielo

Al igual que los barcos dejan rastros de su navegación al surcar aguas tranquilas, los aviones al volar pueden dejar -dependiendo del viento en altura, de la temperatura y de la humedad relativa del aire- estelas de condensación (*contrails*) en el cielo. Se trata de una tipología de nubes inducida por el propio tránsito aéreo, cuya influencia a escala regional en la dinámica atmosférica está siendo investigada.

Texto: **Antonio E. Berrocal**

TACC Noroeste

Recuerdo que el primer contacto que tuve -siendo aún niño- con los aviones de verdad se produjo cuando de repente creí observar, a plena luz del día, como una estrella fugaz se desvanecía en el cielo. Me quedé largo rato tumbado boca arriba, observando como esos trazos blancos se perdían en el horizonte, y preguntándome que sería aquello. Nunca había estado en un aeropuerto y para mí un avión no era más que un juguete que hacía mucho ruido, que se movía torpemente por el suelo del patio y que, desde luego, no volaba. Al llegar a casa, conté lo que había visto y me dijeron, sin demasiada

convicción, que se trataba del "humo" de los aviones.

Simplificando mucho, se podría afirmar que el proceso de formación de las estelas de condensación es análogo al que da origen al vaho producido por nuestra respiración las frías mañanas de invierno. Nuestros pulmones expulsan al exterior un aire cálido y cargado de humedad que, al ponerse en contacto con un aire mucho más frío y menos húmedo, consigue que el vapor de agua de nuestra respiración se condense, haciéndose fugazmente visible.

Los gases expelidos por la tobera de una turbina están cargados igualmente de vapor de agua. Dicho vapor de agua,

junto al CO₂ y otros elementos traza, son los restos que la combustión de la materia orgánica ha generado (en este caso, queroseno). Ese vapor de agua entra en contacto con el aire gélido de la atmósfera, saturándolo y sublimándolo de forma instantánea, formándose así pequeños cristales de hielo que serán el origen de las estelas de condensación. Son varios los factores que determinan la formación o no de las estelas y su permanencia en el cielo, principalmente la temperatura del aire, la humedad relativa y el viento.

Por todos es ya sabido que la temperatura del aire viene determinada por la altitud y se rige por un gradiente vertical negativo de unos -6,4°C por cada 3.000 pies. Como regla general, podemos afirmar que las estelas pueden formarse a partir de los 30.000 pies, donde la temperatura del aire es inferior a los -40°C. El gradiente de temperatura del aire también viene determinado por la latitud, por la distribución de los océanos y por la época de año. En las latitudes medias y altas, se produce un adelgazamiento de la troposfera, por lo que las temperaturas del aire son más frías que en la zona ecuatorial; siendo así, las estelas pueden generarse a altitudes inferiores (nunca por debajo de los 24.000 pies). Durante el verano, las estelas aparecen a altitudes sensiblemente superiores (35.000





Autor: Antonio E. Berrocal



pies). El vapor de agua procedente de la combustión, al ponerse en contacto con la atmósfera, se sublima de forma casi instantánea, formándose pequeños cristales de hielo. Dicha sublimación no se produce hasta que los gases no se han alejado una centena de metros de la de tobera y se ha disipado el calor generado en la misma; por eso las estelas aparecen, vistas desde tierra, a cierta distancia de los motores.

Para que la estela no se disipe de forma instantánea, es necesario que exista una humedad relativa del aire próxima a la saturación (con respecto al hielo). Si se cumplen esas condiciones de humedad, los cristales de hielo recién formados –junto con otras partículas sólidas presentes en los gases expelidos– se comportarán como núcleos higroscópicos que harán posible la condensación del vapor del agua

Hasta hace unos pocos años, se entendía que las emisiones de gases y vapor de agua generada por el tráfico aéreo eran un factor contribuyente al conocido efecto invernadero.

circundante, en un proceso similar al de la formación de nubes *naturales*. Si la atmósfera está muy seca –en verano y sobrevolando zonas continentales–, las estelas no se forman y, de hacerlo, desaparecen al instante. Como regla general, podemos decir que la anchura de la estela crece entre 18 y 140 metros por minuto, y si las condiciones de viento en altura le son favorables, puede alcanzar una anchura de hasta un kilómetro a los



Los atentados del 11-S obligaron a cerrar el espacio aéreo norteamericano durante 72 horas, lo cual hizo posible estudiar la dinámica climática en ausencia de *contrails*. Los resultados fueron sorprendentes.

veinte minutos de su formación.

Es muy probable que algunos de los lectores, sobre todo los *torreros* y los viajeros más habituales, hayan podido observar un tipo de estela diferente a la que hemos descrito hasta ahora: se trata de las estelas generadas en la punta del ala y en los bordes de los *flaps*, cuyo origen es bien diferente al de las estelas de condensación. Estas estelas se producen en las zonas donde se genera una depresión súbita de la presión atmosférica, inducida por la interacción del flujo del aire entre el intradós y el extradós del ala. La reducción de presión, del orden de 30 a 400 milibares, produce un enfriamiento del aire y, por consiguiente, la condensación del vapor de agua, si las condiciones de humedad relativa lo hacen posible. Esa condensación permite hacer visible, de forma fugaz, los vórtices de punta de ala. Este fenómeno no es exclusivo de la aeronáutica; ahora que está de moda la Fórmula 1 y que

tenemos campeón mundial de la especialidad, no es difícil ver por televisión como los monoplazas también generan vórtices visibles en sus *spoilers* cuando encaran una recta a velocidad máxima y la pista está mojada.

Predecir si los motores de un avión en vuelo van a generar o no una estela puede llegar a ser un tema muy importante, sobre todo para la aviación militar. La presencia de dichas estelas puede ser determinante para ejecutar o cancelar una misión aérea. Se han estudiado varios modelos de predicción para determinar el nivel de vuelo mínimo, según las condiciones atmosféricas, donde el sobrevuelo de un avión no genere estelas que puedan delatar su misión. A dicho nivel de vuelo se le denomina nivel Mintra, que es un término heredado de la Segunda Guerra Mundial y basado en los experimentos llevados a cabo por los oficiales de la RAF, a bordo de los cazas *Spitfire*. Existen registros fotográficos que nos muestran las estelas que dejaban tras de sí los bombarderos aliados B 17 al dirigirse al norte de Alemania a efectuar algunas misiones de castigo.

Por tanto, las estelas no son patrimonio exclusivo de los aviones propulsados por motores a reacción. Los gases de combustión generados en un motor de pistón también son susceptibles de generar dichas estelas si la altitud de vuelo es al menos de 24.000 pies, es invierno y el vuelo se produce en lati-

tudes relativamente altas. Lógicamente, su aparición solo dependerá de las condiciones atmosféricas.

Entre los muchos modelos predictivos podemos destacar el RUC (Rapid Update Cycle) Model Data, desarrollado por la NASA. Se trata de un modelo tridimensional de cálculo (viento, humedad y temperatura), capaz de determinar, en tiempo real, la aparición de *contrails*.

Hoy en día, el estudio del origen, formación, desarrollo y persistencia de las estelas en el cielo no viene determinado por intereses ligados a la seguridad nacional ni a la defensa, como lo fueron en el pasado, sino por la posible perturbación del medio ambiente, los cambios que puedan inducir en la dinámica atmosférica y, por ende, en el clima de algunas regiones del planeta.

Impacto climático

Las estelas son consideradas como nubes *antropogénicas* y, una vez alcanzado su máximo desarrollo, derivan en *cirrus* idénticos a los generados en la alta troposfera. En zonas con alta densidad de tránsito aéreo y condiciones meteorológicas propicias, las estelas de condensación pueden derivar en la formación de importantes capas de *cirrus* muy compactas, cuya influencia en el clima regional está siendo estudiada.

Hasta hace unos pocos años, se entendía que las emisiones de gases y vapor de agua generada por el tráfico aéreo eran un factor contribuyente al conocido efecto invernadero. El Instituto Langley Research Center de la NASA lleva desde el año 1975 estudiando la influencia de las estelas de condensación y el clima en algunas regiones de América del Norte. Las zonas de mayor densidad de tráfico aéreo son detectables en las imágenes de alta resolución enviadas por los satélites en órbita terrestre, al ser perfectamente visibles los *contrails* y los *cirrus* en los que derivan. Gracias a estas imágenes, se estima que un 0,1 por ciento de la superficie terrestre está cubierta por *cirrus* asociados al tránsito aéreo y su índice de crecimiento, en las últimas tres décadas, se sitúa al 0,1 por ciento anual.



Según estos estudios, en el año 2050 este tipo de *cirrus* cubrirán, como una sábana blanca, más del cinco por ciento de la superficie terrestre. Sólo un tres por ciento de los gases que inducen el calentamiento global de la atmósfera –por medio del efecto invernadero– son

de origen aeronáutico. Igualmente, se ha estimado que los *contrails* han producido un aumento de temperatura en la atmósfera de entre 0,36 y 0,54° Fahrenheit por década.

Los ataques terroristas del fatídico 11 de septiembre en Estados Unidos cambiaron en cierto modo las ideas que hasta el momento se habían tenido sobre los *contrails* y su influencia en el efecto invernadero. El atentado obligó a cerrar el espacio aéreo norteamericano por un periodo de 72 horas, y este hecho supuso una oportunidad única e irrepetible para el estudio de la atmósfera *free contrail* de Norteamérica. Investigadores de la Universidad de Wisconsin-Whitewater y la American Meteorological Society recopilaron durante esos tres días datos de más de 4.000 estaciones meteorológicas de todo el país. Comparando los datos recogidos con los del registro histórico de los últimos treinta años para esa misma semana de septiembre, llegaron a la desconcertante conclusión de que las temperaturas máximas diurnas habían subido entre 2 y 5° Fahrenheit. De ser cierta la influencia de los *contrails* en el efecto invernadero, las temperaturas, al desaparecer las estelas, tendrían que haber decrecido, y de hecho ocurrió

justo lo contrario.

El novedoso descubrimiento puso de manifiesto que la presencia de *contrails* y *cirrus* producen un efecto neto enfriador de la atmósfera, ya que durante el día reflejan un cinco por ciento de la radiación de onda corta solar, y por la noche influyen muy poco en el reflejo de la radiación de onda larga emitida por el planeta, puesto que el volumen de tráfico nocturno decae de forma drástica. Así, las temperaturas diurnas decaen por la menor incidencia solar y las nocturnas se mantienen, por lo que el balance energético neto es negativo. Al nuevo fenómeno se le bautizó como *global dimming*, que podría traducirse –tirando de diccionario– como *atenuación solar*. Dicha menor incidencia de la radiación solar, al ser reflejada por los *cirrus* y *contrails*, genera el enfriamiento local de la atmósfera.

Dando por cierto el modelo *global dimming*, no podemos olvidar que sus efectos globales no dejan de ser anecdóticos, puesto que sólo un 0,1 por ciento de la superficie terrestre está cubierta de *contrails* y los gases generados por la aviación representan únicamente un tres por ciento del total de los gases emitidos a la atmósfera por la actividad humana. ☑

