

ENSAYO

ESTELAS EN EL CIELO

*Un avión atraviesa el cielo de la Patagonia y deja tras su paso una estela blanca
¿Qué es?, ¿debemos preocuparnos?, ¿puede afectar nuestra salud?*

Rodolfo D. Sánchez y Astrid Bengtsson

En noviembre de 2016 y meses posteriores se difundieron en medios digitales, impresos y radiales de San Carlos de Bariloche, varios reportajes y artículos donde se explicitaba la preocupación de un grupo de vecinos por supuestas fumigaciones masivas, manifestadas en trazos o estelas blancas persistentes, que atraviesan el cielo de la región cordillerana. Según varias hipótesis, estas fumigaciones atmosféricas de aviones esparcirían masivamente productos químicos tóxicos, de allí el nombre que les dan a estos trazos: estelas químicas o *chemtrails* (contracción de las palabras en inglés *chemical trails*). El grupo de vecinos autoconvocados por "Cielos limpios" y agrupados en un espacio en Facebook *Chemtrails Norpatagonia*, afirma que estas *chemtrails* son diferentes al fenómeno muy bien conocido de estelas de condensación que deja el paso de un avión a altura de crucero, conocidas como estelas de vapor o *contrails* (contracción de las palabras en inglés *condensation trails*). Estas, están muy estudiadas y son residuos remanentes (dióxido de carbono y vapor de agua) de la combustión de kerosene, que ocurre en las turbinas o motores de los aviones.

La Defensoría del Pueblo de Bariloche, concejales de esta ciudad y de la ciudad vecina de Dina Huapi,

legisladores de la provincia de Río Negro, y una senadora nacional, se han hecho eco de los reclamos de un sector de la población de la región, preocupados por el posible paso de aviones fumigadores con productos tóxicos, o por la existencia de un presunto plan a gran escala con el objetivo de modificar y controlar el clima mundial. Estas actividades estarían incluidas en lo que se denomina *geoingeniería* (ver Glosario).

En un artículo aparecido en la revista *Al Margen* de circulación regional, sus autores, Moraga y Fau¹, también retoman el reclamo de los vecinos y de los defensores de la existencia de las *chemtrails* y describen la supuesta intencionalidad y responsabilidad, de fumar con estas estelas de productos químicos tóxicos: "(...) estas fumigaciones tienen razones como el control total de los recursos básicos como agua y alimentos, con la participación de grandes corporaciones; la guerra climática, provocando desastres en zonas concretas con distintos fines, como la extracción de recursos; ataques biológicos, tanto por programas de reducción de población, como por los beneficios de las corporaciones farmacéuticas, entre tantos otros posibles ensayos". En la misma publicación, los autores hacen mención al relato en primera persona de un ex trabajador del Parque Nacional Nahuel Huapi, que afirma: "Toda nube tóxica que se genera en realidad es parte de la *geoingeniería*. Los gobiernos tienen serios problemas para poder contrarrestar la influencia de alguien como Monsanto, que goza de la impunidad de Estados Unidos y que ha sido capaz de comprar Bayer". Más adelante, el texto señala: "Detrás de las enfermedades masivas están los grandes laboratorios farmacológicos (...). Jamás en la historia regional veíamos estas estelas programadas y con aviones extranjeros. Exijamos análisis de suelo, agua y aire".

El activo grupo de vecinos realizó una jornada de difusión y debate sobre *geoingeniería* el 22 de abril de 2017, que tuvo como oradora a la Defensora del Pueblo. Durante la jornada se mostraron fotos de es-

Palabras clave: *chemtrails*, *contrails*, estelas químicas, *geoingeniería*.

Rodolfo D. Sánchez ^(1,2)

Dr. en Física.
rodo@cab.cnea.gov.ar

Astrid Bengtsson ⁽¹⁾

Dra. en Psicología.
astrid@cab.cnea.gov.ar

⁽¹⁾ Centro Atómico Bariloche, Instituto Balseiro (CNEA-UNCuyo).

⁽²⁾ Instituto de Nanociencia y Nanotecnología (CNEA-CONICET), Argentina.

Recibido: 18/09/2017. Aceptado: 23/02/2018.

⁽¹⁾ Moraga V. y Fau A. (2017). "Chemtrails, un grito en el cielo". *Al Margen* 78, 4 - 6.

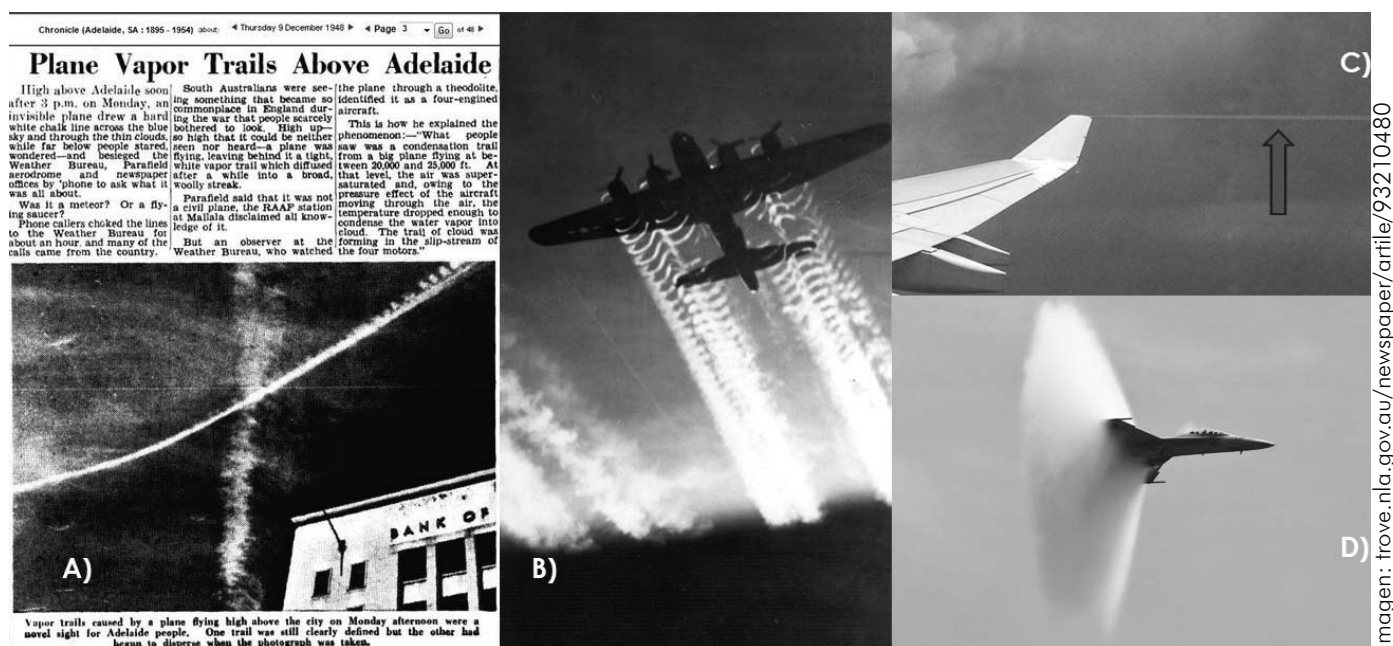


Figura 1. A) "Plane Vapor Trails Above Adelaide, Chronicle (Adelaide, SA)", 9 de diciembre de 1948, página 3. B) Bombardeos durante la Segunda Guerra Mundial. Trazas radiales de vapor condensado, producidas por cuatro motores a hélice de bombarderos B-17 a una altura de 30.000 pies (9.000 m) y -40 °C de temperatura. C) condensación aerodinámica en la punta del ala (ver flecha). D) avión de combate, que al alcanzar la velocidad del sonido ocasiona una estampida sonora como una perturbación local que produce un cono de vapor condensado alrededor de la nave (condensación espontánea). Este fenómeno suele verse también en cohetes.

telas sobre la región. Se destacaron las diferencias entre las estelas tipo *contrails* y las supuestas *chemtrails*, como por ejemplo la persistencia o excesivo tiempo de duración de las últimas. También se calificó a las nuevas morfologías y a la clasificación del nuevo *Atlas Internacional de Nubes* (publicado en 2017 por la Organización Meteorológica Mundial), como una operación mediática del mercado mundial. Las hipótesis sobre las fumigaciones masivas con aluminio, bario y estroncio, como también las de proyectos de estudios atmosféricos con trazadores de trimetilaluminio (TMA) por parte de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration* de EE.UU.), fueron presentadas como evidencia de la existencia de un plan de geoingeniería para manipular el clima a escala mundial.

En este contexto, pretendemos utilizar datos, información y conceptos científicos elementales para dar evidencias de la escasa factibilidad y razonabilidad de algunas de las hipótesis sustentadas por el grupo de vecinos autoconvocados.

Antecedentes y explicación de la formación de diferentes condensaciones

En la atmósfera hay grandes cantidades de agua disuelta en forma de vapor. Podemos darnos cuenta de su presencia si dejamos un objeto congelado sobre una mesa; en unos minutos notaremos la condensación de una fina capa de cristallitos de hielo sobre su superficie. Si esperamos más tiempo, el objeto se calienta y veremos que los cristales se transformaron en gotitas de agua, lo que vulgarmente suele explicarse como que el objeto "ha transpirado". Otra forma de visualizar la condensación es cuando, en un día muy frío de invierno, exhalamos aire de los pulmones a temperatura corporal formándose una pequeña traza de vapor. Las nubes que observamos en el cielo también son formas de condensación del vapor de agua presente en la atmósfera, y a la altura de los vuelos comerciales (alta atmósfera) se forman cirrus (ver Glosario). En los párrafos siguientes explicaremos cómo el

ENSAYO

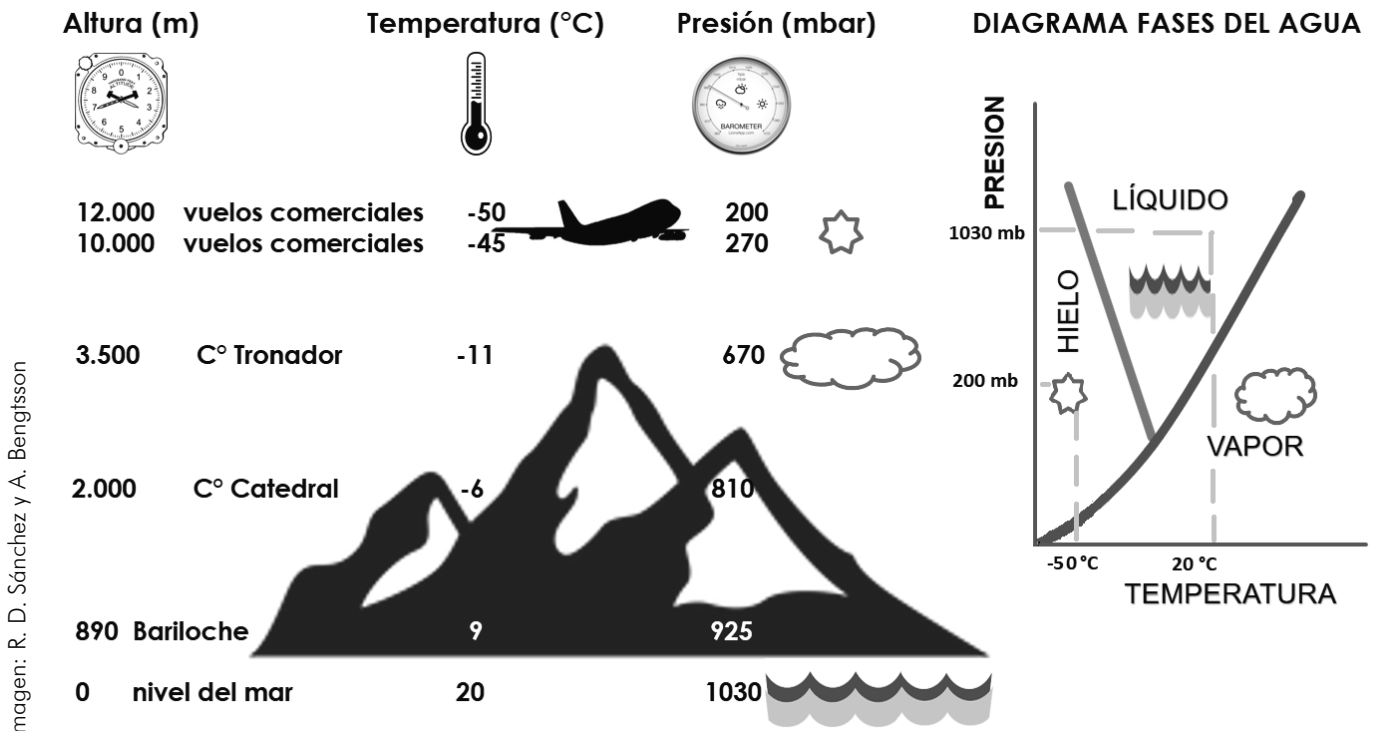


Imagen: R. D. Sánchez y A. Bengtsson

Figura 2. Dependencia de la presión atmosférica y la temperatura con la altura (valores estimativos y aproximados). Diagrama de fases del agua. Un conjunto de valores de presión y temperatura, indica que estado de agregación del agua es estable. Al bajar la temperatura y la presión se condensa el vapor en hielo.

vapor de agua que sale de la combustión de las turbinas del avión se enfría y condensa, haciendo visible una estela de "vapor" en un trazo blanco, formando lo que se conoce como *contrail*.

Desde las décadas de los '40 y '50 se tienen registros periodísticos y fotográficos (ver Figura 1A) y explicaciones científicas sobre cómo ocurren las *contrails* producidas por aviones a más de 8.000 metros de altura, donde la presión y temperatura son bajas. Además, en aire limpio prácticamente saturado de humedad, el empuje del avión que acompaña al flujo de aire en torno a las puntas de hélices (ver Figura 1B), o puntas de las alas (ver Figura 1C), produce una reducción de presión aerodinámica, con un consecuente enfriamiento suficiente para formar las llamadas "estelas aerodinámicas". También existen nubes excepcionales de condensaciones de vapor de agua que no tienen forma de estela, y que se producen cuando un avión supera la velocidad del sonido. En este caso la

nube tiene forma de disco o cono (ver Figura 1D) y el fenómeno es denominado "nube de condensación espontánea" (conocido como efecto *Prandtl-Galvert*) que puede ser observado durante el vuelo de aviones caza de combate y en cohetes, o en el despegue de transbordadores espaciales.

Para un vuelo comercial a 12.000 metros de altura, las condiciones termodinámicas de presión atmosférica y temperatura son aproximadamente 200 mbar y -50°C. Bajo estas condiciones en la alta atmósfera, el diagrama de fases del agua, predice que el vapor de agua debe condensar formando cristales de hielo (ver Figura 2). En lo particular, a pesar de que estén dadas las condiciones termodinámicas para la condensación del vapor de agua, deben existir otros factores que definirán la dinámica y persistencia de las estelas. Uno de estos factores que debe considerarse es la humedad relativa con respecto al hielo. En la Figura 3A, podemos apreciar cómo es la relación entre la máxima

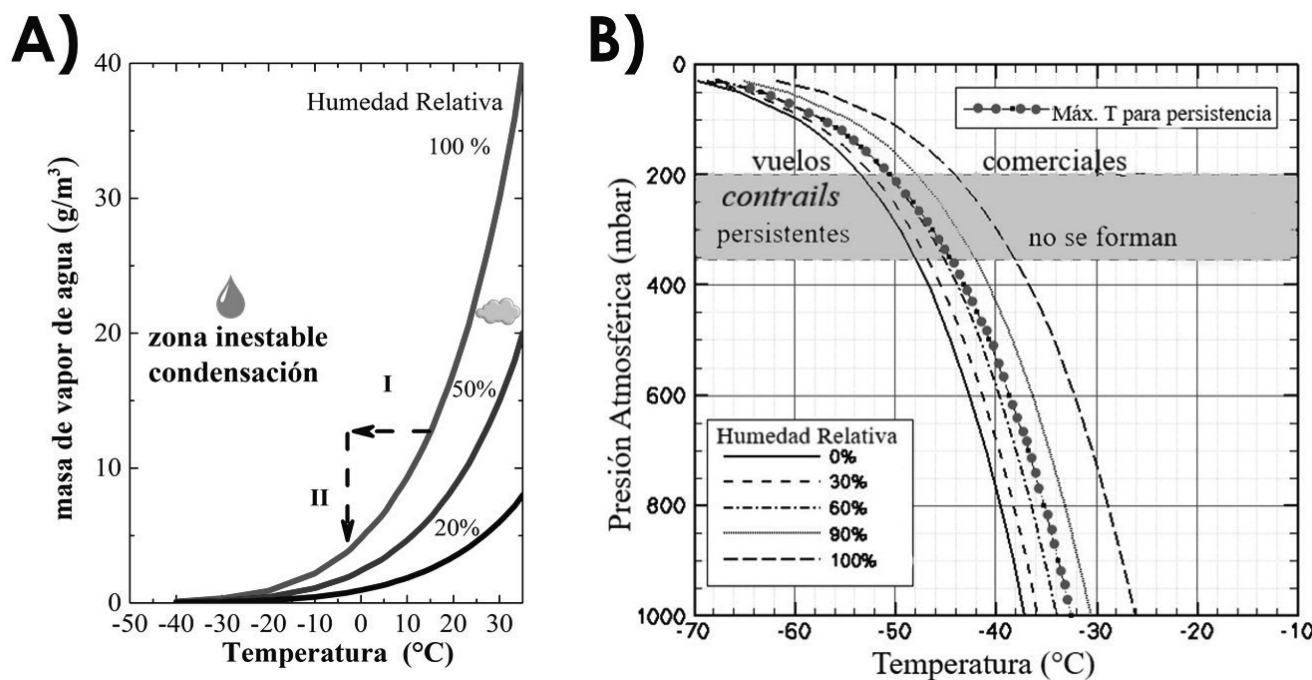


Figura 3. A) Curvas de masa de vapor de agua por metro cúbico de aire en función de la temperatura y para diferentes porcentajes de humedad relativa (20%, 50% y 100%). La curva de 100% corresponde a la saturación. Una mayor cantidad de vapor de agua es inestable y debe condensar como lo muestran las flechas indicando los procesos I y II. A 15 °C la saturación de vapor de agua es 13 gramos, al disminuir la temperatura a -2 °C (la saturación es de 4 gramos de vapor de agua), 9 gramos de vapor de agua deben condensar. B) Curvas de presión atmosférica en función de temperatura para diferentes valores de humedad relativa. La zona gris indica la presión atmosférica existente a la altura de los vuelos comerciales. La curva central con puntos muestra las temperaturas máximas, a cada presión, para la formación de las *contrails*.

cantidad de masa de vapor de agua que puede estar disuelta en un metro cúbico de aire a cada temperatura. Las tres curvas del gráfico corresponden a los datos de humedad relativa del 100%, 50% y 20% respectivamente. Las flechas horizontal y vertical indican (sobre la curva de 100%) dos procesos: el que denominamos "proceso I" de sobreenfriamiento del vapor desde 15°C a -2°C. A una temperatura de 15°C hay 13 gramos de vapor de agua (saturación) disueltos en un metro cúbico de aire, mientras que a -2°C, la cantidad de saturación de vapor disuelto en aire debería ser 4 gramos por metro cúbico. En consecuencia, hay 9 g/m³ de agua en exceso que debería condensar espontáneamente, lo cual está indicado en el "proceso II". Diferente es el caso si la humedad relativa es muy baja y se enfría la masa de aire húmedo sin alcanzar aún la saturación. En estos casos, al bajar la temperatura no

se producirá condensación.

En la Figura 3B mostramos el diagrama propuesto por H. Appleman en su publicación de 1953 en el Boletín de la Sociedad Americana de Meteorología y el cuál es utilizado aún en la actualidad. El diagrama representa la presión atmosférica en función de la temperatura y a partir de qué condiciones se puede formar una *contrail*. Cada una de las curvas corresponde a diferentes valores de humedad relativa. La franja gris indica el rango de presiones que se registra a la altura de los vuelos comerciales (entre 200 y 350 milibares). La curva central con puntos indica la temperatura máxima que permite la formación de *contrails* a cada valor de presión. Por arriba de la temperatura máxima, el vapor de agua no condensa (o aquella fracción que lo hizo, se disuelve en el aire cálido desapareciendo rápidamente la estela). Entre la curva de máxima tem-

Imagen: R. D. Sánchez y A. Bengtsson

ENSAYO

peratura y la correspondiente a una humedad relativa del 0%, la probabilidad de formación de estas estelas es pequeña. Mientras que a temperaturas por debajo de una humedad relativa del 0%, siempre se formarán *contrails* porque este valor de humedad relativa implica que no hay condiciones para que exista vapor disuelto en la atmósfera. El vapor de agua que sale de la turbina, al enfriarse sólo puede condensar. Los tiempos de persistencia dependen fuertemente de los valores de temperatura, presión, humedad relativa y otros factores como la eficiencia del motor (ver lectura sugerida).

Se pueden encontrar publicaciones de fines de los '90 con proyecciones y estimaciones hasta el año 2050 de crecimiento de las rutas del tráfico aéreo, donde consideran la tasa de crecimiento anual, el consumo de combustible, el rendimiento de los motores, los datos meteorológicos de temperatura y humedad, y estiman la evolución y la distribución resultante de cubrimiento de cirrus provenientes de *contrails*. Sobre un mapa del mundo se ve claramente que la mayor densidad de estas estelas está sobre el hemisferio norte y específicamente sobre las rutas aéreas (con una tasa de cubrimiento del 0,09%). El desbalance entre la radiación entrante y saliente de la tierra por la formación de estas estelas (contribución a la variación de temperatura superficial del planeta o efecto invernadero) fue estimada en $0,02 \text{ W/m}^2$ (potencia de energía por metro cuadrado). Este valor multiplicado por una constante permite calcular la contribución al efecto invernadero entre $0,01^\circ\text{C}$ a $0,02^\circ\text{C}$. En el peor de los escenarios, con un desbalance de radiación diez veces superior debido a la presencia masiva de *contrails*, la temperatura de la superficie del planeta puede aumentar $0,2^\circ\text{C}$ en 2050. Las estimaciones muestran que el aporte de las *contrails* al calentamiento global es ínfimo, comparado con el efecto natural de las nubes tipo cirrus y más aún, frente a emisiones de dióxido de carbono de aproximadamente 30 billones de toneladas por año, provenientes principalmente de centrales térmicas usando combustibles fósiles, que si producen un desbalance de radiación importante ($1,5 \text{ W/m}^2$).

Trabajos científicos más recientes tienen en cuenta todos estos factores y logran hacer modelos y simu-

laciones bastante sofisticados, a partir de los cuales se puede predecir la persistencia de las *contrails*. Estos modelos involucran otras variables que afectan su formación y persistencia. Entre ellas se encuentra el número de centros de nucleación presentes en la atmósfera (polvo, cristales de hielo, partículas provenientes de incendios forestales, de cenizas volcánicas, etc.) que permitirían la condensación sobre ellos. Si no hay centros de nucleación, el vapor de agua en la alta atmósfera puede estar sobreenfriado y si éste está por encima de la sobresaturación puede condensar a temperaturas por debajo de -40°C en lo que se llama nucleación homogénea de hielo. Otros factores que se suelen considerar son los efectos de la radiación (principalmente solar que produce enfriamiento o calentamiento de la estela) y la dirección y magnitud del viento (que puede desplazarlas o darle formas peculiares).

Antecedentes de fumigaciones nocivas a baja altura

En la historia reciente de la humanidad, podemos citar dos ejemplos de fumigaciones perjudiciales y nocivas. Una es con el herbicida fosforado conocido como glifosato, fabricado y comercializado en todo el mundo por la multinacional Monsanto. Otro es el caso de las fumigaciones con el Agente Naranja en la guerra de Vietnam durante la década del '60. En el discurso, de los que sostienen la hipótesis de la existencia de las *chemtrails*, se mencionan estas dos fumigaciones nocivas y destructivas. Por ejemplo, en la nota de la revista Al Margen que mencionamos previamente, encontramos la siguiente sentencia "Y, esto, [de la fumigación] arranca en la Guerra de Vietnam como una herramienta de ataque y con el Agente Naranja, con la fumigación a toda esa nación (...) uno de los productos del Agente Naranja, lo tiene actualmente el glifosato porque en definitiva es la misma empresa Monsanto la que lo fabrica". También en una entrevista radial que diera la misma persona citada en el artículo, el entrevistado explica en diálogo con El Vespertino de Radio Seis¹: "En Córdoba hicimos una fuerte denuncia porque vemos que aparecen plantas con hojas verdes achicharradas. Algunos dicen que

era el glifosato, pero lo único que cae del cielo en Córdoba es el *chemtrail*". Justamente Córdoba es una de las provincias más castigadas con la fumigación a gran escala con glifosato. Desde hace 18 años, la agrupación Madres del Barrio Ituzaingó Anexo está dando una batalla titánica contra el aparato estatal y la multinacional, por la fumigación con agrotóxicos que afecta a las poblaciones vecinas a los campos. Recién en 2009, la Justicia de Córdoba terminó dándole la razón y fue contundente: "(...) fumigar áreas urbanas viola disposiciones de la Ley Provincial de Agroquímicos y constituye un delito penal de contaminación ambiental, que se pena con hasta diez años de prisión". Sin embargo, la lucha aún continúa y recién en 2017 la Corte Suprema se expidió ante la apelación de los fumigadores. El precio para los vecinos fue muy caro: en una población de 5.000 habitantes, 200 padecen algún tipo de cáncer. Deberíamos tener un debate serio al respecto, ya que a pesar de las sentencias judiciales, se continuó con esta práctica y unos 300 millones de litros de glifosato al año se siguen esparciendo en el país sobre 28 millones de hectáreas de campo sembrado.

Como señalamos anteriormente, el Agente Naranja es otro ejemplo de fumigación. Durante la guerra de Vietnam con Estados Unidos, ocasionó graves daños tanto a la salud de la población vietnamita como a los soldados estadounidenses que participaron del conflicto. Es un herbicida clorado que produce una dioxina (ver Glosario) como reacción secundaria. Fue fabricado por Monsanto y Dow Chemical, y utilizado por el gobierno de EEUU para defoliar la selva y destruir los plantíos para alimentación de la población vietnamita. Unos 76 millones de litros de herbicidas clorados fueron esparcidos y afectaron a un millón y medio de soldados de la propia tropa de Estados Unidos, que padecieron distintas formas de cáncer, según se puede constatar en las revistas especializadas sobre esta enfermedad en los EEUU. Se estima que el número de vietnamitas perjudicados por el Agente Naranja supera en diez veces al número de estadounidenses afectados. El glifosato y el Agente Naranja son productos químicos fabricados por la corporación Monsanto, pero esto no implica que el glifosato contenga

al Agente. Son, de hecho, dos compuestos químicos diferentes.

Lo anteriormente expuesto muestra información relevante acerca de la existencia de fumigaciones a gran escala, a baja altura, nocivas para la humanidad y que involucran a gobiernos y corporaciones económicas. De estos hechos, no se desprende que estén relacionados directamente con las supuestas *chemtrails*, sin embargo, más adelante mencionaremos que estos (o similares) forman parte de lo que los especialistas denominan percepción de riesgo por parte de la sociedad, y es un factor que debe ser tenido en cuenta cuando se establece un diálogo entre la ciencia y la tecnología con la sociedad.

Las estelas blancas en los cielos de Bariloche

En algunos días soleados y despejados es relativamente común ver estelas blancas sobre el cielo de Bariloche. Éstas suelen aparecer tras el paso de un avión comercial. En la Figura 4 puede apreciarse un par de fotografías que muestran dos estelas, cruzándose en el cielo. Por los horarios o ayudados por alguna aplicación de celular que indique los vuelos en tiempo real (por ejemplo, *flightradar24*, ver Figura 5A) es posible identificarlos. El sistema de esta aplicación funciona con un equipo que envía desde el avión señales periódicas con datos de vuelo, aeronave, tiempos de vuelo, coordenadas de la ubicación, etc. La información es recibida por algún radar o antena y es distribuida a diferentes servidores para que cualquiera de estas aplicaciones monitoree el vuelo en tiempo real a través de Internet.

Como ejemplo, en el caso de las fotos de la Figura 4, que fueron tomadas el miércoles 26 de abril de 2017 cerca de las 15 horas, con 10 minutos de separación, pueden observarse dos estelas cruzadas dejadas por aviones. La estela (1) corresponde al vuelo de Auckland (Nueva Zelanda) a Ezeiza a 12.000 metros de altura que viaja del sudoeste hacia el noreste, con una frecuencia de 3 veces por semana. La estela (2) corresponde a un vuelo de Chile que se dirige desde Puerto Montt a Santiago de Chile a 7.200 metros de altura. Las líneas de puntos en la Figura 4B indican las posiciones iniciales de ambas estelas. Se puede apre-

ENSAYO

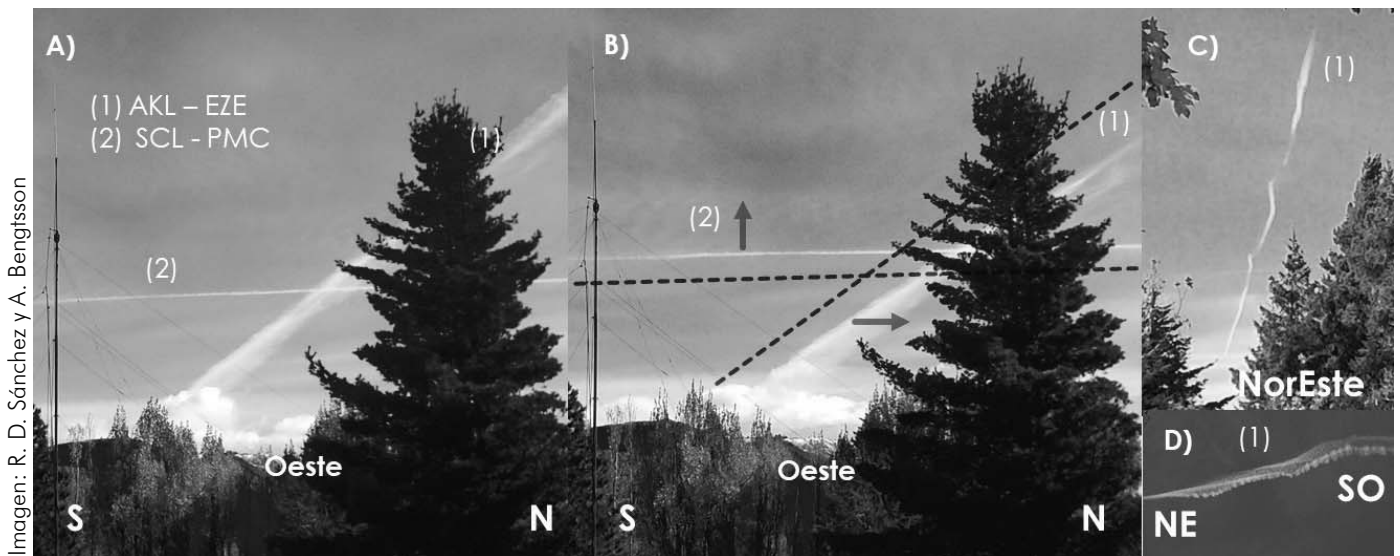


Imagen: R. D. Sánchez y A. Bengtsson

Figura 4. A) y B) Fotos tomadas con 10 minutos de separación, el 26 de abril de 2017 cerca de las 15 horas. Puede observarse dos estelas cruzadas dejadas por aviones. (1) Es el vuelo a 12.000 metros de altura, desde Auckland (Nueva Zelanda) hacia Ezeiza y viajando de la dirección sudoeste hacia el noreste dejando una *contrail* persistente. El vuelo tiene una frecuencia de tres veces por semana, y (2) es un vuelo de Chile que vuela desde Puerto Montt a Santiago de Chile a 7.200 metros de altura. La línea de puntos en la foto B) son las posiciones iniciales de ambas estelas. Se puede apreciar que se mueven en diferentes direcciones, ya que la dirección del viento depende de la altura. C) La misma estela en dirección noreste. D) En el cenit. Esta última tiene forma de ola.

ciar que las estelas se desplazaron en diferentes direcciones, ya que la dirección del viento puede variar con la altura y que una estela se esparció mucho más que otra. Ese día, la estela (1) dejada por el avión de Auckland atravesaba todo el cielo como puede verse por su continuación hacia el noreste (Figura 4C). En la Figura 4D se puede apreciar que los bordes de la estela forman rulos u olas debido a turbulencias. Sin embargo, casi un mes después, el miércoles 24 de mayo de 2017, se oía el paso del avión, pero para fotografiarlo y poder ver la estela había que aumentar el zoom considerablemente, apreciándose cómo la condensación desaparecía rápidamente (ver Figura 5B y 5C). Seguramente, las condiciones en la atmósfera eran diferentes a las del mes anterior, con menos presencia de humedad o mayor temperatura a esa altura. También puede observarse un espacio entre la aeronave y la estela de vapor. En esta zona, los gases expulsados por la combustión aún están a alta temperatura. A medida que los gases se van enfriando, el vapor es condensando en cristales de hielo y forman la estela.

Cuanto más frío es el aire del entorno, las *contrails* tardan más tiempo en deshacerse. En dirección de norte a sur suelen verse otras estelas que corresponden a un vuelo en Chile, de Santiago a Punta Arenas o el vuelo de Córdoba a El Calafate, que en este último caso pasa sobre el Cerro Otto.

¿Qué sabemos del aluminio, bario y estroncio que supuestamente componen las *chemtrails*?

Entre las afirmaciones contundentes por parte de quienes sostienen la hipótesis de la existencia de las *chemtrails* está la de que nos rocían con “una nube de metales pesados como el aluminio, el bario y el estroncio”. En algunos casos se habla de “nube tóxica” que afectaría la salud de los seres humanos y en otros como “parte de la *geoingeniería*” para modificar el clima. En los siguientes párrafos comentaremos en forma sucinta cómo estos elementos pueden afectar la salud y qué propiedades físicas tienen y si es factible que puedan cambiar el clima.

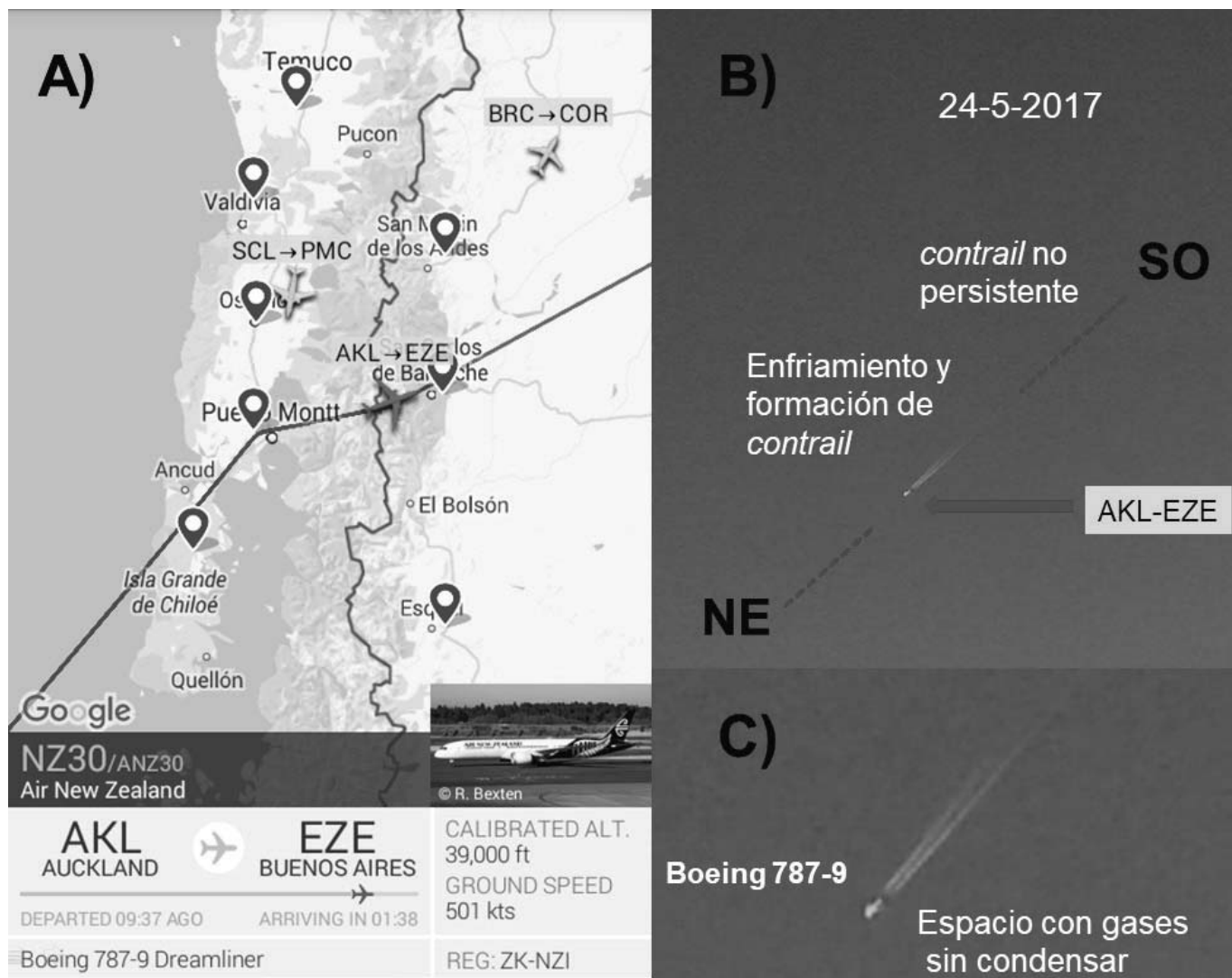


Imagen: R. D. Sánchez, A. Bengtsson

Figura 5. A) Captura de la pantalla de la aplicación flightradar24 para celular del miércoles 24 de mayo de 2017 cerca de las 15 hs. B) Fotografía del vuelo de Auckland – Ezeiza ANZ30 en su paso sobre Bariloche formando una contrail no persistente. C) Se puede ver un espacio, entre el avión y la estela vapor condensado, donde los gases emitidos están aún a una alta temperatura al salir de la turbina.

En general, se considera que un metal pesado es aquel cuya densidad supera en cinco veces a la del agua, que tiene una densidad de 1 g/cm³, y no deben confundirse con metales tóxicos perjudiciales para salud. Podemos decir que casi todos los elementos químicos pueden ser tóxicos si una persona está expuesta a altas dosis o durante muchas horas, como podría ser una jornada completa de trabajo en una mina. Algunos metales pesados como el plomo y cadmio son

extremadamente tóxicos, pero no todo metal pesado es tóxico.

El aluminio no es precisamente un metal pesado y de hecho se utiliza en la industria de la aviación por ser liviano (tiene una densidad de 2,7 g/cm³), y el átomo de este metal es cinco veces más liviano que el del bario. La corteza terrestre tiene en su composición un 8% de este metal, lo que lo hace muy abundante. En lo que respecta a la salud, por ejemplo, el aluminio

ENSAYO

puede causar problemas en los riñones cuando entra en el cuerpo durante el proceso de diálisis en pacientes con insuficiencia renal.

También, aquellos que sostienen la hipótesis de la existencia de las *chemtrails*, suelen afirmar que se utilizan nanopartículas de aluminio porque "cambia el reflejo del sol" y en consecuencia permitirían disminuir la temperatura de la superficie terrestre. Es cierto que el aluminio refleja los rayos del sol y se hacen cocinas solares o espejos aprovechando esta propiedad que hace que la luz se refleje especularmente. La luz visible (colores de luz que puede percibir el ser humano), apenas penetra unos nanómetros en el metal, y los electrones libres tienden a hacer una "coraza" impidiendo que la luz sea absorbida y se refleja por completo. Pero las nanopartículas de aluminio son de color negro, lo cual se debe principalmente a su tamaño, lo que minimiza el papel de coraza de los electrones libres del metal. Las nanopartículas ya no reflejan la luz, sino que la absorben y en consecuencia las vemos de color negro.

El bario, por su parte, es un metal liviano con una densidad de $3,5 \text{ g/cm}^3$. El sulfato de bario se usa como contraste en radiografías de rayos X de estómago. De forma natural los niveles de bario en el medio ambiente son muy bajos. Altas cantidades pueden sólo ser encontradas en suelos y algunos alimentos como frutos secos, algas y pescados. La cantidad de bario que es detectada en la comida y en el agua generalmente no es suficientemente alta como para ser preocupante para la salud. Sus sales son poco solubles y la que presenta mayor solubilidad es el cloruro de bario.

El estroncio es un metal liviano y tiene una densidad de $2,7 \text{ g/cm}^3$. Sus sales son insolubles en agua. En general, la ingesta de altas concentraciones de estroncio no se reconoce como un gran peligro para la salud humana. En altas cantidades (miles de partes por millón) puede causar problemas en el desarrollo de huesos. Los niveles de este metal en comidas y agua no son suficientemente altos para ser capaces de producir estos efectos. El cromato de estroncio produce cáncer de pulmón, pero esto puede ser debido al cromo que es un elemento bastante perjudicial para la salud.

Ninguno de estos tres elementos existe en la naturaleza en forma de metal, sino formando sales u óxidos

(lo que se conoce como estado iónico del metal). Por otro lado, compuestos que contienen estos mismos tres elementos son utilizados en los fuegos artificiales para darles diferentes coloraciones (el aluminio aporta el color blanco o plata, el estroncio el rojo y el bario el verde). Probablemente cada vez que asistimos a un espectáculo de lanzamiento de fuegos artificiales, como la Fiesta Nacional de la Nieve, podríamos estar siendo "rociados" con estos tres elementos.

¿Cuántos aviones se necesitarían para fumigar con bario y alcanzar la categoría de residuo peligroso?

Cualquier tipo de fumigación en aerosol o líquida de estos elementos debe partir de soluciones y casi la totalidad de las sales y los hidróxidos de estroncio o de bario, son prácticamente insolubles en agua. De las sales de estos elementos, el cloruro de bario, es la única relativamente soluble en agua y por eso sólo consideraremos este elemento. Los defensores de la hipótesis sobre la existencia de las *chemtrails*, para fundamentar la fumigación, suelen mostrar fotos de aviones comerciales sin asientos que en su lugar tienen tanques supuestamente con el líquido para fumigar. Si contamos la cantidad de tanques que se ven en una de esas fotos, podemos hacer la siguiente estimación: el volumen aproximado de líquido que puede transportar ese avión es de unos 2.500 litros, y conociendo la solubilidad de cloruro de bario a 20°C (358 g por litro de solución), se puede estimar la cantidad de bario que puede transportar el avión. Para 2.500 litros de una solución saturada de cloruro de bario, se tienen 560 kg de bario por avión.

El 4 de junio de 2011 el sistema volcánico Puyehue - Cordón del Caulle entró en erupción con una pluma que llegó a medir entre 11 y 14 km de altura. Por acción del viento, el material o tefra, al que llamamos ceniza, se depositó en una franja a lo largo de la dirección sureste desde el volcán, afectando parte de la zona del lago Nahuel Huapi y alcanzando varias localidades de la línea sur. Teniendo en cuenta fotos satelitales, Hernán Asorey, Arturo López Dávalos y Andrea Clúa (estudiantes y docentes de la Universidad Nacional de Río Negro en la Sede Andina de esta casa de estudios), realizaron una estimación de

la superficie de la zona afectada y obtuvieron que fue de aproximadamente 1.700 km², tres veces mayor que la superficie del Lago Nahuel Huapi incluidas sus islas. Tomando datos de diversos reportes se estimó también que, en promedio, el espesor de ceniza depositada fue de diez centímetros. Por otro lado, se midió la densidad del material recién caído, que resultó de 600 kilogramos por tonelada. Con este conjunto de datos se pudo estimar en esta primera fase, que el volcán arrojó unas 100 millones de toneladas de cenizas sólo en ese primer día. Por otro lado, los datos geoquímicos publicados por los investigadores Romina Daga, Sergio Ribeiro y María Arribere del Laboratorio de Activación Neutrónica del Centro Atómico Bariloche, nos permiten saber que la concentración de las trazas de bario en las cenizas varía entre 765 y 814 gramos por tonelada. Ahora, con los datos sobre la cantidad de cenizas depositadas y la concentración de bario en las mismas, es posible estimar que la erupción del volcán depositó aproximadamente 60 mil toneladas de bario (un equivalente a 110 mil hipotéticos aviones fumigadores). En un día, un evento natural arrojó decenas de miles de toneladas de bario al medio ambiente sin llegar a valores tóxicos o perjudiciales, porque la concentración de bario en la ceniza es similar a la concentración del elemento en el suelo patagónico. Esto es lógico, ya que la superficie del terreno está principalmente formada por depósitos sucesivos de cenizas de reiteradas erupciones.

En los párrafos siguientes vamos a estimar qué cantidad de hipotéticos vuelos fumigadores se necesitarían para contaminar una franja de suelo o el aire de la atmósfera entre el suelo y el avión.

Hipótesis de que nos fumigan con bario, llega al suelo y se deposita completamente.

Ahora, si la máxima cantidad de bario transportada por avión que estimamos en párrafos precedentes (560 kg), fuera fumigada sobre una franja de diez kilómetros de ancho por 100 kilómetros de largo, y suponemos que el bario penetra tres centímetros de profundidad en el suelo (profundidad de penetración, que normalmente se toma para el cálculo de dosis en el uso de herbicidas); se puede calcular que por cada vuelo la variación de concentración de bario es 0,014

gramos por tonelada de suelo. Comparando este valor estimado con los niveles permitidos por la Legislación Argentina sobre residuos tóxicos, los límites de bario en suelos argentinos, dependiendo de su uso, rondaría ente 500 y 2.000 gramos de bario por tonelada de suelo. Valores similares figuran en la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, que informa que la cantidad de bario que se encuentra en el suelo varía entre 15 y 3.500 partes por millón (ppm, equivalente a g/t). Según pudimos deducir, de los datos publicados en 2011 sobre análisis de geoquímica de cenizas de varias erupciones en el sur andino, la concentración de bario en el suelo patagónico es de unos 250 g/t. Para subir 10 veces esta concentración (a 2.500 g/t), y acercarnos a una concentración de toxicidad, deberían pasar fumigando con bario sobre esta franja de terreno, más de 180 mil aviones. Si lo escalamos a la Patagonia entera, se necesitarían unos 300 millones de aviones con bario para elevar la concentración en el suelo a niveles considerados como tóxicos, cantidad nada despreciable de aviones si se considera que el tráfico aéreo mundial es de unos 93 mil aviones diarios. Para lograr este efecto, durante casi nueve años consecutivos, todos los días, deberían pasar por la Patagonia todos los vuelos del mundo y -por supuesto- sin llevar pasajeros sino tanques con solución de cloruro de bario.

Hipótesis de que nos fumigan con bario y que éste se queda en el aire

Supongamos ahora que el bario nunca llega al suelo, que queda suspendido en el aire y que no se desplaza a otras zonas por la acción de los vientos. Esta suposición es muy poco probable, simplemente recordemos que la pluma de cenizas de la erupción de 2011, mencionada con anterioridad, dio la vuelta al mundo. Aun así, continuemos con la suposición de que el bario queda suspendido en el aire y contenido en un volumen comprendido entre el avión y el suelo. ¿Qué geometría puede tener el volumen de aire que contendrá el bario suspendido por la fumigación?, una posibilidad es imaginarnos que el bario se va distribuyendo desde los 10 km de altura a un ancho de 5 km de cada lado del avión. Esto forma un triángulo de 10 km de base y 10 km de altura: si el avión fumigador se

ENSAYO

desplaza (el triángulo también) a lo largo de 100 km, el volumen donde queda el bario suspendido (y atrapado) sería del tipo prisma triangular (10 km de base x 10 km de altura x 100 km de largo). Tendríamos los 560 kg de bario que arroja el avión fumigador en cinco billones de metros cúbicos de aire. En este caso, la variación de concentración de bario en aire aportada por un hipotético vuelo fumigador, sería de 0,000112 mg/m³ (miligramos por metro cúbico). El Instituto Nacional de Salud y Seguridad Ocupacional considera que la exposición a niveles entre 50 mg/m³ o más de cloruro de bario en aire, constituye peligro inmediato para la salud o la vida². En otras palabras, el límite aconsejado de concentración de bario en aire, para una persona que inhala en una atmósfera cargada de sales de bario durante 40 horas semanales en su trabajo, es 440 mil veces mayor que lo aportado por un hipotético vuelo fumigador. Serían necesarios casi medio millón de aviones fumigando los mismos 100 km para alcanzar un nivel perjudicial para la salud y ponernos en riesgo como los trabajadores expuestos en una explotación de minerales de bario.

Si veo una estela entre los cerros ¿a qué altura va el avión?

Los aviones fumigadores suelen hacerlo a cinco metros del suelo, porque de lo contrario no se alcanza la concentración deseada del agroquímico para que sea eficaz. En el caso de la fumigación con *chemtrails*, ¿a qué altura se debería realizar? Entre los defensores de la hipótesis sobre la existencia de las *chemtrails* hay dos versiones: i) que se realiza a la altura de un vuelo comercial, esto es entre 10.000 y 13.000 metros de altura o ii) que se fumiga entre 2.000 y 3.000 metros de altura. Como las estelas en la alta atmósfera pueden explicarse por el fenómeno de las *contrails* que dejan los vuelos comerciales, tal como explicamos al principio de este texto, muchos defensores de la hipótesis de las *chemtrails* optan por asegurar que las fumigaciones se realizan a más baja altura (entre 2.000 y 3.000 metros) donde por otro lado, la formación de *contrails* es menos probable. A nivel local, estas argumentaciones también se utilizan y se

pueden encontrar afirmaciones como esta: “Los aviones que nos fumigan habitualmente a nosotros, que está comprobado, siempre vienen pegados al filo de la Cordillera, cruzan sobre el Tronador”². El cerro Tronador tiene aproximadamente 3.500 metros de altura.

Al observar sobre los cerros una estela dejada por un avión, la altura del cerro no nos da, necesariamente, la información sobre a qué altura pasó el avión. La perspectiva y la percepción de nuestros sentidos pueden engañarnos. En Bariloche, la Avenida Bustillo bordea el lago Nahuel Huapi de este a oeste y finaliza en el Hotel Llao-Llao en el kilómetro 24. Desde el kilómetro cero (donde se ubica el monolito), las estelas visibles hacia el oeste de la ciudad se ven bajo un ángulo (desde el suelo) de unos ocho grados aproximadamente. Una relación trigonométrica, la tangente de este ángulo, nos dice qué valor debe tener el cociente entre la altura del vuelo y la distancia horizontal desde el punto de observación (kilómetro cero) a la vertical del suelo al avión. Conociendo este cociente, ahora podemos suponer que: i) si el avión estuviera fumigando a 2.000 metros de altura, la distancia desde el punto de observación a la vertical del avión, sería el kilómetro 16 de la Av. Bustillo (hacia el sector oeste de la ciudad); ii) en cambio, si el avión estuviera volando a unos 10.000 m de altura (como lo hace el vuelo comercial entre Santiago de Chile y Punta Arenas), su vertical estaría sobre territorio chileno a unos 80 kilómetros en línea recta desde el punto de observación en Bariloche (ver Figura 6). Este sencillo cálculo trigonométrico nos permite demostrar que el supuesto avión “fumigador” cuya estela se observa en la dirección norte-sur, cuando miramos al oeste desde la ciudad de Bariloche, no pasó por los cerros cercanos a la ciudad, ni por el Tronador, sino que habría pasado sobre territorio aéreo de Chile.

Modelos científicos para evitar la construcción de falacias y conclusiones erróneas

En ciencia no hay verdades absolutas. La forma que tiene la ciencia de avanzar es por medio de la construcción de modelos teóricos que pone a prueba, de manera de evitar argumentaciones

(2) Decreto 831/93, Reglamentación de la Ley N° 24.051 sobre residuos peligrosos y su Anexo II, Tabla 9.

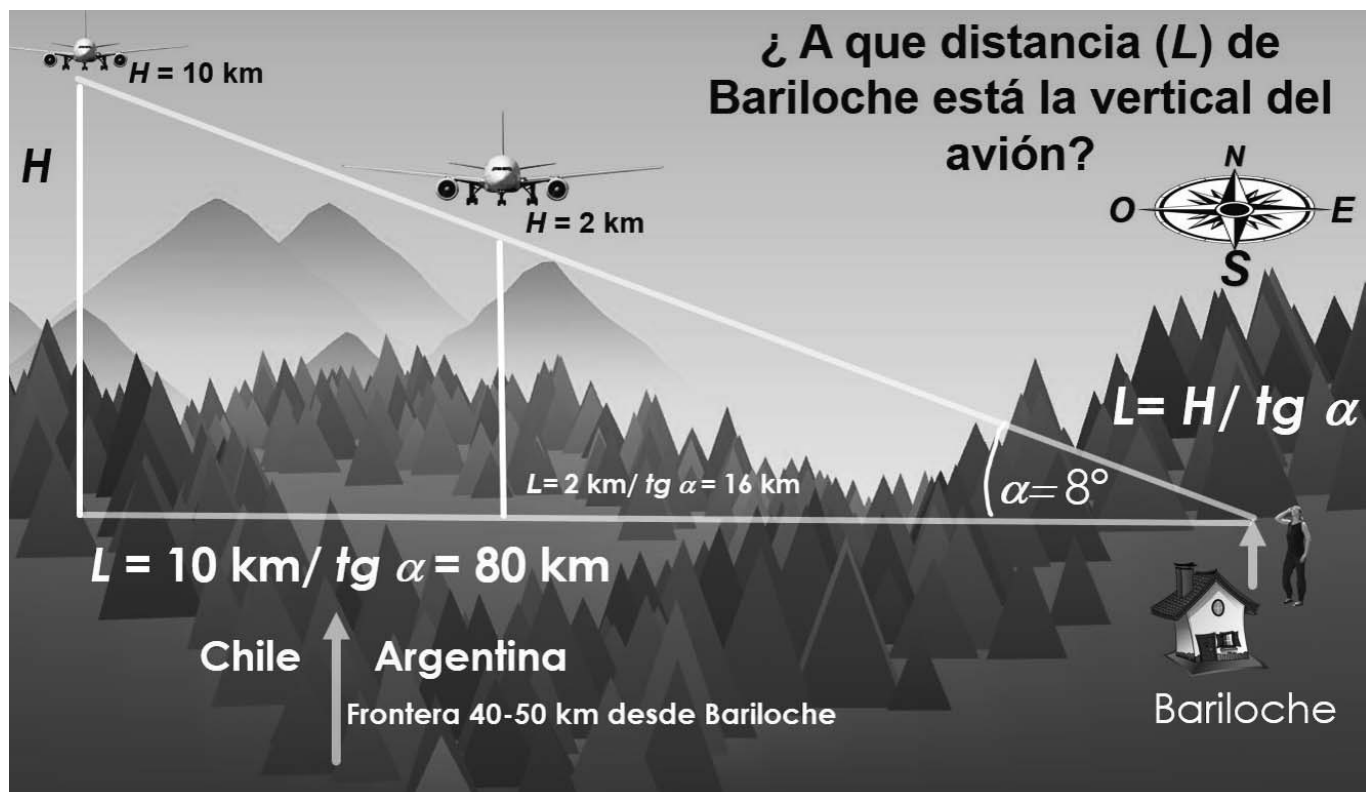


Figura 6. Para estelas (norte-sur) que se ven hacia el oeste de la ciudad de Bariloche (punto de observación), la tangente del ángulo (α) relaciona la distancia terrestre (L) desde el centro de la ciudad (punto de observación) hasta aquel punto por donde pasa la vertical del avión con la altura del vuelo (H). El ángulo se mide desde la horizontal del suelo hasta la estela y para un caso concreto medimos un ángulo de 8° . Con este ángulo, si el vuelo fuera de baja altura (2.000 m), su vertical debería pasar a 16 kilómetros del punto de observación. En cambio, si vuela a 10.000 m, $L=80 \text{ km}$ y la vertical del avión recorre el territorio chileno.

del tipo de las falacias y prejuicios. El ser humano busca entender el mundo en el que vive, generando innumerables hipótesis y modelos explicativos, aunque no todos son comprobables o posibles.

En declaraciones de los defensores patagónicos de la hipótesis sobre la existencia de las *chemtrails* y la geoingeniería perjudicial se dice: "(...) es escasa la información con la que cuenta la sociedad sobre las *chemtrails*, porque hay una campaña mundial de ocultamiento de la práctica". Aunque hemos tomado citas de la revista Al Margen y otras de la prensa local, en general, este tipo de afirmaciones y construcciones argumentativas son parte de un fenómeno mundial. Por ejemplo, Estados Unidos, España, Italia y Grecia son países donde hay bastante actividad y comunidades

defendiendo la existencia de las *chemtrails*, supuestamente propiciadas por una geoingeniería a escala mundial. Hay varios millones de sitios en Internet en los cuales se puede leer sobre el tema, pero la mayoría de las informaciones vertidas en esos sitios de Internet no son comprobables, ni cuentan con sustento académico.

Por otro lado, accediendo a una base de publicaciones disponible en las Universidades (por ejemplo, SCOPUS) y colocando como palabras de búsqueda: "geoengineering" o "chemtrails", aparecen menos de una decena de artículos. De autores italianos, griegos, franceses, o estadounidenses, la mayoría de este puñado de publicaciones son estudios sociológicos y antropológicos que consideran la existencia de las *chemtrails* como una teoría

ENSAYO

conspirativa y paranoica. Algunos estudian la propagación de rumores o noticias pseudocientíficas a través de las redes sociales y sobre cómo estas se potenciaron con el uso de Internet a partir de los 90.

El 17% de las personas que participaron en una encuesta internacional cree que es verdad, o parcialmente verdadero, que existe un plan secreto de *spray* a gran escala en la atmósfera. Sin duda, el trabajo más importante que refuta la hipótesis de las *chemtrails* y de la existencia de un programa secreto es el de C. Scheerer y colaboradores publicado en 2016. En este trabajo se encuestó a 77 investigadores científicos especialistas en *contrails* y en análisis de elementos en la atmósfera. El reporte fue concluyente por parte de 76 investigadores (el 98,7% de los participantes): ninguno de ellos encuentra evidencia alguna sobre la existencia de un plan secreto de fumigaciones atmosféricas a gran escala como plantean los defensores de la hipótesis de la existencia de *chemtrails* (ver lectura sugerida de Asende, *El País* y de Bell en *BBC*).

Una teoría científica suele ser buena para explicar muchos fenómenos e hipótesis en danza, y descartar falacias. A lo largo de este análisis, vimos que muchas de las hipótesis sostenidas por los defensores de los *chemtrails* no resisten análisis científicos básicos.

Reflexiones finales

Podemos indicar, en rasgos generales, que el discurso sostenido por los defensores de las hipótesis sobre la existencia de las *chemtrails* se caracteriza por afirmaciones contundentes sin estudios que lo sustenten, así como el uso de conceptos científicos e históricos básicos descontextualizados o formulados de manera errónea o incompleta, e hipótesis no comprobadas.

La nube de cenizas del volcán Puyehue - Cordón del Caulle dio la vuelta al mundo en 14 días, demostrando que la atmósfera está interconectada. Esta interconectividad muestra que no es trivial fumigar localmente o atacar selectivamente una población con un producto tóxico, sin ocasionar un daño importante a miles de kilómetros de distancia. Una geoingeniería perjudicial para la salud selectiva hacia algunos seres humanos de una región es impracticable.

En cierta forma, entendemos los reparos, miedos y dudas que puede tener la opinión pública acerca

del papel que juegan las corporaciones económicas (como tabacaleras o fumigaciones a gran escala con agroquímicos) que, con tal de maximizar sus ganancias, ocultan y manipulan información sensible que puede afectar la salud de la población. Otras actividades extractivamente abusivas, como la pesca, la petrolera o la megaminería, ocasionan daños importantes en el medio ambiente. Sobran ejemplos en la historia reciente de la humanidad y de cómo la complicidad de muchos gobiernos con las corporaciones multinacionales, terminan apañando la actividad delictiva de las mismas o legalizando directamente el saqueo y la impunidad. Sin embargo, el argumento sobre las *chemtrails* llega a ser abstracto y con poco sustento al carecer de referencias sobre qué corporaciones y qué gobiernos son exactamente los que promueven o ejecutan programas a gran escala de fumigaciones perjudiciales para la salud de la población. Así presentadas se vuelven denuncias genéricas que, lamentablemente a nuestro juicio, terminan desacreditando otras denuncias con fuertes fundamentos sobre el accionar delictivo y en algunos casos hasta inmoral por parte de multinacionales y gobiernos hacia la humanidad. Desde el punto de vista académico, ya en 1984 Dorothy Nelkin (socióloga experta en temas de Ciencia y Sociedad), inició los estudios de percepción pública de riesgo. En ellos, destacó la importancia de analizar las disputas públicas que vinculan a la ciencia-tecnología y sociedad, y la necesidad de observar las preocupaciones e intereses que allí se ponen en juego, así como también supuestos y posiciones que adoptan los actores intervinientes.

Hoy, gracias a internet, disponemos de muchísima información, aunque abundan las páginas, *blogs* y artículos que sostienen narrativas fantasiosas y sin sustento, tomadas luego como verdades. En particular, en este artículo y utilizando herramientas conceptuales, hemos refutado varias hipótesis que sostienen los defensores sobre la existencia de las *chemtrails*. Entre ellas, vimos que las estelas blancas persistentes que dejan los aviones pueden ser explicadas perfectamente con la información científica disponible y aceptada. También mostramos que las nanopartículas de aluminio no pueden reflejar la luz solar; que es imposible fumigar con aluminio, bario o estroncio debido a la

insolubilidad de los diversos compuestos que forman; y que en el caso de poder hacerlo (como el cloruro de bario) sería logísticamente imposible la fumigación que permita alcanzar concentraciones tóxicas. También hemos mostrado que, si se ven estelas “sobre los cerros”, por una cuestión de perspectiva no necesariamente podemos asegurar que el avión vuela a la altura de los cerros, sino que este puede estar a más altura y en consecuencia a una distancia más lejana que los cerros.

Este planteo particular tomado en este artículo es parte de problemáticas más generales entre la ciencia y tecnología y la sociedad. Consideramos que se debe prestar especial atención a la forma de comunicación, a cómo la educación general y formal debería habilitar la construcción de conocimientos necesarios para discernir la solidez de la información, y fomentar análisis críticos sobre hipótesis.

Resumen

Tras el paso de un avión por los cielos de la Patagonia, en un día despejado, suelen verse trazas o estelas blancas que surcan el cielo. Vecinos preocupados y agrupados en la región cordillerana han reclamado a través de la defensoría del pueblo, de concejales municipales y de legisladores provinciales pedidos de informe a Instituciones sobre si: estas estelas están relacionadas con estelas químicas o chemtrails, si los aviones dejan trazas de aluminio y bario con el objetivo de cambiar el clima y si son nocivos para la salud de personas, plantas y animales. En este artículo intentamos dar una respuesta desde el saber científico a la hipótesis sostenida por el grupo de vecinos de que las estelas dejadas por los aviones son chemtrails o fumigaciones masivas con metales tóxicos.

Glosario

Cirrus: Tipo de nube compuesto de cristales de hielo y caracterizado por bandas delgadas, finas como hebras de cabello.

Dioxina: Compuesto químico que se produce a partir de procesos de combustión con cloro. Se encuentra en el medio ambiente por todo el mundo y debido a su persistencia se va acumulando a lo largo de la cadena alimentaria en el tejido adiposo de los animales por ser soluble en las grasas.

Geoingeniería: También llamada ingeniería climática es una propuesta que surge de las teorías científicas, que abordan el problema del cambio climático, formulando técnicas especialmente desarrolladas para influir en el clima terrestre estipulando como su propósito combatir el calentamiento global. Sus métodos se catalogan en: i) gestión de la radiación solar y ii) reducción del dióxido de carbono.

Lecturas sugeridas

Ansedo, M. Los científicos niegan los ‘chemtrails’, el supuesto plan para fumigar a la población. El País (España), 17 de agosto de 2016. En URL: elpais.com/elpais/2016/08/16/ciencia/1471361175_920591.html

Aranda, D. El veneno que asoló el barrio de Ituzaingó. Página 12, 12 de enero de 2009. En URL: www.pagina12.com.ar/diario/elpais/1-118075-2009-01-12.html

Aranda, D. (2015). Tierra Arrasada. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.

Asorey H., López Dávalos A. y Clúa A. (2011). Potencia de la erupción del volcán Puyehue como un problema de Fermi, *Revista de Enseñanza de la Física*, 24(2), pp. 49-54.

Bell, C. Estelas químicas: por qué hay gente que cree que hay algo siniestro detrás de las líneas blancas que dejan los aviones en el cielo, BBC, 31 de enero de 2018. En URL: www.bbc.com/mundo/noticias-42896167

Villatoro F.R. La física de las estelas blancas de los aviones. *Naukas*, 4 de mayo de 2011. En URL: naukas.com/2011/05/04/la-fisica-de-las-estelas-blancas-de-los-aviones/