



Antroponubes

UNA PROPUESTA PARA LAS NUBES FORMADAS POR LA ACTIVIDAD HUMANA

JORDI MAZON^{1,2}, MARCEL COSTA², JERONI LORENTE³, DAVID PINO¹

¹ DEPARTAMENT DE FÍSICA APLICADA - BARCELONATECH (UPC)

² ASSOCIACIÓ CATALANA D'OBSERVADORS METEOROLÒGICS (ACOM)

³ DEPARTAMENT D'ASTRONOMIA I METEOROLOGIA - UNIVERSITAT DE BARCELONA

*Jordi.mazon@upc.edu

Tradicionalmente se ha considerado que la nubosidad tiene un origen únicamente natural. Desde los inicios de Revolución Industrial, el uso a gran escala de combustibles fósiles y a las emanaciones de vapor de agua y otros gases procedentes de la actividad humana han comportado alteraciones importantes de las condiciones atmosféricas locales que, en determinadas ocasiones, pueden generar la formación de nubes que de otra forma no aparecerían en cielo. Estas nubes proponemos se denominen antroponubes.

El Atlas Internacional de nubes no contempla esta diferenciación, pues en el origen de su edición (Howard, 1804), así como la inercia de las sucesivas ediciones desde el siglo

XIX, se ha dado por sentado que el origen de las nubes ha estado siempre “natural”.

Con el fin de distinguir las nubes antrópicas de las no antrópicas, en las observaciones meteorológicas proponemos anteponer el prefijo *anthro-*, al nombre del género correspondiente (Mazon et al., 2012). En el caso de las abreviaturas usadas para designar las nubes se añadiría una a-, a la abreviatura correspondiente al género de la nube.

La formación de nubes es uno de los numerosos procesos atmosféricos que se ven alterados por las actividades humanas. Hay diversos estudios sobre la importancia y los efectos de las nubes altas de origen antrópico (Penner, 1999; Minnis et al., 1999, 2003 i 2004; Marquart et al., 2002 i 2003; Stuber

Antropocirros (aCi)
cerca de Barcelona
(Marcel Costa)



and Foster, 2006 i 2007). En el caso de los *Anthropocirrus* (aCi) procedentes de contrails, por ejemplo, el IV IPCC estima un forzamiento global radiativo positivo del orden de $0,01 \text{ Wm}^{-2}$ y, por tanto, una contribución al calentamiento global.

Los observadores meteorológicos pueden contribuir a estimar mucho mejor la contribución de las actividades humanas a la génesis de nubes, usando el prefijo *Anthropo-* (a-) para designar aquellas nubes que tengan un claro origen antrópico. La acumulación y valoración de estos datos en el futuro permitiría obtener datos fiables de la influencia de la acción humana en la atmósfera, al ayudar a cuantificar mejor en términos globales la formación y persistencia de antroponubes.



Antropocúmulus (aCu) en Islandia (Marcel Costa)

Descripciones de los géneros de nubes que pueden tener un origen antrópico

A) ANTROPONUBES ALTAS

Las nubes altas, los cirros (Ci), cirrostratus (Cs) y cirrocumulus (Cc) de origen antrópico tienen el mismo proceso como detonante de su génesis: los aviones comerciales o militares en su vuelo por la parte alta de la troposfera. Los gases resultantes de la combustión expulsados por los motores aportan vapor de agua al aire habitualmente muy seco en esta región de la troposfera. Por otro lado, el fuerte contraste entre el aire frío de las capas altas de la troposfera y el caliente y húmedo expulsado por los motores de los aviones provoca la rápida sublimación del vapor de agua formando pequeños cristales de hielo. Este proceso sucede con más facilidad ya que se realiza sobre los abundantes núcleos de condensación producto de la combustión.

La estela de condensación de la aviación, de forma genérica *contrails*, produce antroponubes cirriformes del género Cirrus que proponemos denominar *anthropocirrus* (aCi). La fuerte diferencia de temperatura entre el aire expulsado por el motor de los aviones y el aire del ambiente por donde circulan los aviones suele generar procesos de convección a pequeña escala, los cuales favorecen que dichas estelas de condensación (aCi) evolucionen con relativa rapidez hacia *Anthropocirrocúmulus* (aCc), nubes con forma de pequeños copos de color blanco intenso.

Antroponubes

UNA PROPUESTA PARA LAS NUBES FORMADAS POR LA ACTIVIDAD HUMANA

Dependiendo de las condiciones atmosféricas existentes en la parte alta de la troposfera, estas antroponubes altas se disipan con rapidez o bien persisten. Cuando el aire es seco y estable las partículas que forman las antroponubes altas se evaporan con mucha rapidez y sólo se observan hasta un centenar de metros de distancia de la cola del avión. Este proceso es también indicativo de estabilidad atmosférica. Por otro lado, si la humedad es elevada existe una sobresaturación sobre el hielo y la antroponube que se forma se expande y puede persistir durante horas. Dependiendo de los flujos del viento que dominen en la zona donde se han formado los aCc o aCi, las partículas de hielo que los conforman se pueden dispersar formando nubes con textura uniforme y coloración blanca, que proponemos denominar *Anthropocirrostratus* (aCs).

La presencia y persistencia de estos tres géneros de antroponubes altas acostumbran a ser previos a nubes prefrontales de un frente o una borrasca. En determinadas ocasiones, cuando el tránsito aéreo es intenso, la formación de antroponubes altas inhibe la formación de cirros naturales, ya que los primeros captan el vapor de agua del ambiente.

B) ANTROPONUBES MEDIAS

La franja intermedia de la troposfera es la parte de esta capa atmosférica que está menos afectada por la actividad humana.



Cielo cubierto de antropocirros (aCi), antropocirrocúmulus (aCc) y antropocirrostratus (aCs) en Barcelona (Jeroni Lorente)

Por un lado está suficientemente elevada para no recibir casi la influencia de las actividades industriales de la superficie, y por otro, los vuelos comerciales o militares solo la atraviesan durante las maniobras de despegue o aterrizaje.

A causa de esta reducida influencia de las actividades humanas y a la gran extensión de los *Nimbostratus* (Ns) i *Altostratus* (As), estos géneros nubosos difícilmente pueden estar originados por la actividad humana. Consideramos pues, que las formas antrópicas de estos dos géneros de nubes no existen.

El único género de nube media que puede formarse a causa de actividades humanas es el *Anthropoaltocúmulus* (aAc), nube originada por un proceso similar al de los *Anthropocirro-*



Antropoestratocúmulus (aSc) sobre Polonia (Jordi Mazon)

cúmulus (aCc), pero en el contexto de estelas de condensación en las capas medias de la troposfera. Los aAc pueden ser originados pues, por estelas de aviones que sobrevuelan la parte media de la troposfera.

C) ANTROPONUBES BAJAS.

La parte baja de la troposfera es la que recibe más directamente la influencia de las actividades humanas que aportan vapor de agua, aire caliente y núcleos de condensación, los tres ingredientes que originan la formación de nubes

En situaciones de estabilidad es frecuente la formación de nieblas cuando el aire de las capas inferiores de la troposfe-



Antropostratocumulus (aSc) en Berlín (Marcel Costa)



Antropostratocumulus (aSc) en Badalona (Marcel Costa)

ra es muy húmedo. A veces el contenido de vapor de agua no es suficiente para la formación de capas de Stratus (St) de forma natural, pero el aporte de aire cálido y húmedo proveniente de alguna actividad humana favorece la formación de capas de *Anthropostratus* (aSt).

Otras veces el aire cálido y húmedo procedente de alguna planta energética o industrial origina una corriente convectiva que al alcanzar el nivel de condensación forma una nube antrópica de aspecto cumuliforme, que proponemos denominar *Anthropocumulus* (aCu). También se pueden observar con cierta frecuencia aCu de pequeñas dimensiones encima de las cúpulas de aire contaminado que se forman en situaciones

anticiclónicas sobre grandes ciudades o áreas industriales.

Proponemos denominar Anthropostratocúmulus (aSc) a aquellas nubes de origen antrópico que pueden formarse tanto en el contexto de una niebla formada por aSt en la cual se produzca un cierto ascenso convectivo, como en el caso de aCu que se estratifican.

Los Cumulonimbus (Cb) son nubes que por sus dimensiones sólo excepcionalmente pueden ser generados por causas humanas. Se ha observado, por ejemplo, que grandes incendios forestales originan inicialmente los denominados Pirocúmulus, los cuales se ha continuado desarrollando hasta convertirse en *Anthropocumulonimbus* (aCb).

Bibliografía

- Howard L. 1804. On the Modification of Clouds and the Principles of their Production, Suspension and Destruction: Being the Substance of an Essay Read Before the Askesian Society in Session 1802–1803. J. Taylor: London.
- Penner J, Lister D, Griggs D, Dokken D, McFarland P. 1999. Special Report on Aviation and the Global Atmosphere. Cambridge University Press: London.
- Stuber N, Forster P. 2007. The impact of diurnal variations of air traffic on contrail radiative forcing. *Atmos. Chem. Phys.* 7: 3153–3162.
- Marquart S, Mayer B. 2002. Towards a reliable GCM estimation on contrail radiative forcing. *Geophys. Res. Lett.* 29: 1179. doi:10.1029/2001GL014075.
- Marquart S, Ponater M, Mager F, Sausen R. 2003. Future development of contrail cover, optical depth, and radiative forcing: impacts of increasing air traffic and climate change. *J. Climatol.* 16: 2890–2904.
- Mazon J, Costa M, Pino D, Lorente J. 2012. Clouds caused by human activities. *Weather* 67(11): 302-306
- Minnis P, Kirk J, Nordeen L, Weaver S. 2003. Contrail frequency over the United States from surface observations. *Am. Meteorol. Soc.* 16: 3447–3462.
- Minnis P, Schumann U, Doelling DR, Gierens KM, Fahey DW. 1999. Global distribution of contrail radiative forcing. *Geophys. Res. Lett.* 26: 1853–1856.