

EVENTOS DE CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE ASUNCIÓN (PARAGUAY) Y CLORINDA (ARGENTINA) PRODUCIDOS POR EL GAS NO₂ Y POR AEROSOLES EMITIDOS DURANTE INTENSAS QUEMAS DE BIOMASA

EVENTS OF AIR POLLUTION ON ASUNCION (PARAGUAY) AND CLORINDA (ARGENTINA) PRODUCED BY NO₂ GAS AND AEROSOLEMITTED DURING INTENSE BIOMASS BURNING

Edgar Crinó⁽¹⁾, Genaro Coronel⁽²⁾, Rubén D. Piacentini⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Física, Fac. de Cs. Físico-Matemáticas y Naturales, Univ. Nac. De San Luis, Argentina.

⁽²⁾ Facultad Politécnica, Centro Meteorológico, Universidad Nacional de Asunción San Lorenzo - Paraguay

⁽³⁾ IFIR, CONICET – Univ.Nac., de Rosario, Argentina.

Recibido: 20/11/2013; Aceptado: 24/06/2014

Resumen

En las regiones sudamericanas de Amazonia, Matto Grosso y parte Paraguaya del Gran Chaco Americano, principalmente en la época de quemadas de biomasa (Agosto-Octubre), se generan importantes nubes de contaminación. En este trabajo, con datos satelitales de los equipos Modis, SeaWiFS y OMI de la NASA, se analiza la influencia de las quemadas del Chaco Paraguayo sobre la calidad del aire en las ciudades de Asunción (Paraguay), Clorinda (Argentina) y zonas aledañas. Se describe la evolución temporal de los focos de incendio producidos en la región del Chaco Paraguayo y su correlación con los valores del NO₂ troposférico. El número máximo de focos de quema detectados para un mes durante el período 2005~2010 en el Chaco Paraguayo fue $N_{f, mx} = 22453$ (lo cual ocurrió en septiembre de 2007), mientras que el valor medio mensual en los meses de agosto y septiembre del período citado fue $\langle N_f \rangle = 10744$. En el mismo período, el máximo valor de la columna troposférica de NO₂ registrada sobre Asunción (25,3 S; 57,6 W) fue $C_{NO_2, mx} = 822$ mDU mientras que el promedio anual fue $\langle C_{NO_2} \rangle_a = 72,2$ mDU y la media mensual en los meses de agosto - septiembre: $\langle C_{NO_2} \rangle_m = 78,2$ mDU. Las retrotrayectorias de las masas de aire, obtenidas con el modelo HYSPLIT, muestran que dicho evento tuvo su origen en las quemadas de biomasa ocurridas en la región del Chaco Boliviano-Paraguayo. En conclusión, las ciudades de Asunción, Clorinda, y extensas zonas aledañas, están sometidas a importantes eventos anuales de contaminación, generados en gran medida por fuentes externas.

Palabras clave: contaminación, incendios forestales, calidad del aire, retrotrayectorias y orígenes de masas en el aire.

Abstract

In the Amazon regions of South America, Matto Grosso and Paraguay part of the Gran Chaco, mainly in the biomass burning season (August-October), are generated significant pollution clouds. In this study, with satellite data, we analyze the influence of the Paraguayan Chaco burning on air quality in the cities of Asuncion (Paraguay), Clorinda (Argentina) and surrounding areas. We describe the time evolution of the fires produced in the Paraguayan Chaco region and its correlation with tropospheric NO₂. The maximum number of foci of burning detected for a given month during the period 2005~2010 in the Paraguayan Chaco was $N_{f, mx} = 22453$ (occurred in September 2007), while the monthly average in the months of August and September the cited period was $\langle N_f \rangle = 10744$. In the same period the maximum recorded value of NO₂ tropospheric column over Asuncion (25,3 S; 57,6 W) was $C_{NO_2, mx} = 822$ mDU while the annual average was $\langle C_{NO_2} \rangle_a = 72,2$ mDU and the monthly average in the months of August - September: $\langle C_{NO_2} \rangle_m = 78,2$ mDU. The back trajectories of air masses, obtained with the HYSPLIT model, show that the event originated from biomass burning occurred in the region of the Bolivian-Paraguayan Chaco. In conclusion, the cities of Asuncion, Clorinda, and extensive surrounding areas are undergoing major annual events of pollution, largely generated by external sources.

Keywords: pollution, forest fires, air quality, back trajectories and origins of the air masses.

1. Introducción

En las regiones sudamericanas de Amazonia, Matto Grosso y parte Paraguaya del Gran Chaco Americano,

principalmente en la época de quemadas de biomasa, se generan importantes nubes de contaminación [1-4]. Las mismas están constituidas por gases (NO₂, entre otros) y material particulado o *aerosoles* (hollín, etc) que se desplazan desde el lugar de origen por cientos y hasta

To whom correspondence should be addressed.: ecrino@gmail.com

miles de kilómetros, afectando regiones de Paraguay, Brasil y Argentina. Las ciudades de Asunción y Gran Asunción en Paraguay (25,31° S; 57,64° O; 145 msnm) y Clorinda en Argentina (25,29° S; 57,72° O; 67msnm) han sido afectadas en los últimos años por los aerosoles generados durante los intensos incendios producidos en los Departamentos paraguayos que hemos denominado *Chaco Paraguayo Ampliado* (Figura 1). Estas ciudades ocupan un territorio de aproximadamente 1000 km² y sus poblaciones en total superan los dos millones y medio de habitantes.

Se ha referido que la relación entre el NO₂ y las partículas en suspensión en el aire, en regiones fotoquímicas similares, puede utilizarse como indicador de la contaminación por combustión [5].

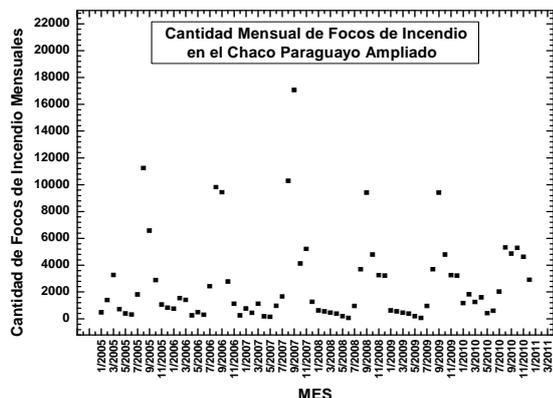
Este trabajo es un primer estudio tendiente a evaluar en qué medida, los contaminantes generados en las quemadas de biomasa del Chaco Paraguayo Ampliado, afectan la calidad del aire sobre las áreas con mayor densidad de población de la región. Para realizarlo se han utilizado los datos de los instrumentos MODIS, SeaWiFS y OMI a bordo de los satélites Terra y Aqua, SeaStar y Aura respectivamente, de la NASA.



Figura 1. Mapa de la región individualizada como Chaco Paraguayo Ampliado

2. La fuente de contaminantes: Los incendios forestales

La quema de biomasa se produce principalmente en el período comprendido entre Agosto y Noviembre de cada año (Figuras 2 y 3). Estos fuegos son generalmente originados por la actividad humana, que los utiliza como herramienta para deforestar terrenos que han de destinarse a la producción agrícola/ganadera, a la producción de carbón vegetal o simplemente para usar la biomasa como



combustible.

Figura 2. Focos de incendios mensuales en el Chaco La Figura 2 muestra, a partir de datos de los instrumentos a bordo del MODIS, la variación anual de la cantidad total de focos ígneos producidos en la zona del Chaco Paraguayo Ampliado en el periodo 2005 ~ 2010

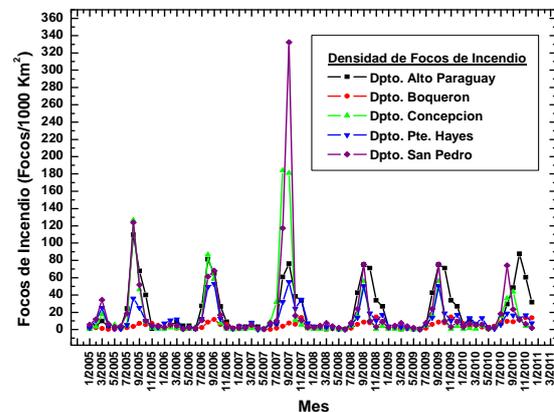


Figura 3. Densidad de focos de incendios en diferentes departamentos de Paraguay

En la Figura 3 se ha representado para el mismo período, la *densidad de focos mensuales* registrados en el Chaco Paraguayo Ampliado. Como se observa, salvo el Departamento de Boquerón, que registra una densidad bastante menor, en los otros cuatro Departamentos la densidad de núcleos de incendio en el período de quema es del orden de 60 focos/1000 km². Se puede apreciar también que entre Agosto y Octubre de 2007 esa densidad fue considerablemente mayor a este valor en los Departamentos de Concepción (184 focos/1000 km²) y San Pedro (332 focos/1000 km²)

3. La columna troposférica de NO₂ sobre Asunción y Clorinda.

Los valores diarios de la columna troposférica de NO₂ sobre Asunción-Clorinda en el período 2005 ~ 2009 se obtuvieron a partir de las mediciones efectuadas por el instrumento OMI a bordo del satélite Aura/NASA, el cual mide con una resolución de 0,25° x 0,25°.

En la figura 4, se muestra la variación temporal de la columna troposférica diaria del gas contaminante NO₂ sobre Asunción, Gran Asunción y Clorinda. El valor medio anual de la misma es de 74,4 mDU. Este gas es generado esencialmente en los incendios forestales producidos en la región chaqueña y por la emisión de los medios de movilidad en las zonas urbanas. En la figura 5 se ha representado el promedio mensual de la columna de NO₂ sobre esas ciudades y la cantidad mensual total de focos de incendio en el Chaco paraguayo ampliado. Como se ve, si bien en los períodos de intensas quemadas de biomasa en esa región el valor de la columna de NO₂ aumenta, superando el valor medio anual, debe aceptarse que esta no es la única fuente importante para la presencia de este gas en las zonas urbanas que nos ocupa. El

coeficiente Pearson de correlación entre ambas gráficas es $p = 0,263$

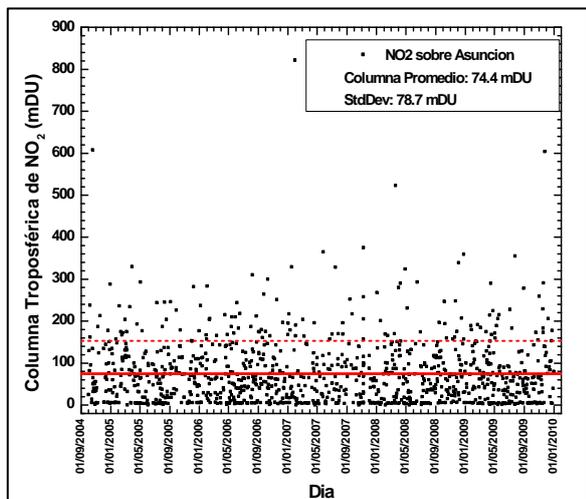


Figura 4. Columna de NO₂ sobre Asunción

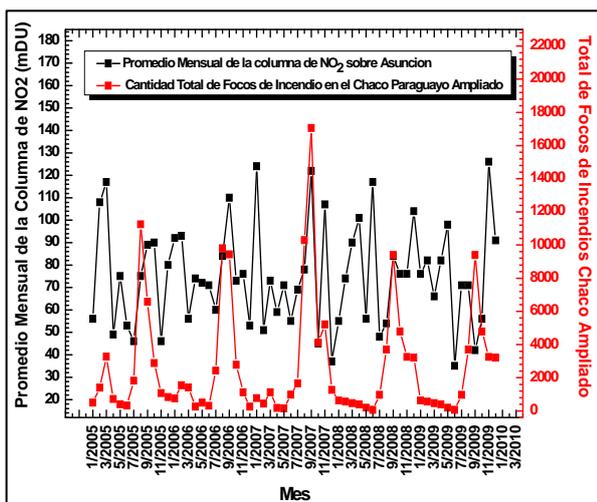


Figura 5. Promedio mensual de la columna de NO₂ sobre Asunción

4. El AOD sobre Asunción, Gran Asunción y Clorinda.

Los aerosoles generados por los incendios forestales y la quema de gramíneas, permanecen en suspensión en el aire y pueden ser arrastrados cuando este se desplaza, disminuyendo la calidad del mismo aún en zonas distantes de los focos de incendio. La caracterización en cantidad y cualidad de estas partículas en suspensión atmosférica se indica mediante la cantidad adimensional denominada *espesor óptico de aerosoles*, AOD, que se define en relación a la atenuación por dispersión y/o absorción que producen los aerosoles a una determinada longitud de onda de la radiación solar incidente.

En la Figura 6 se ha representado, para el periodo Enero 2005 ~ Noviembre 2010, el promedio mensual de AOD a

550 nm, medido sobre Asunción, Gran Asunción y Clorinda por el equipo satelital Sea WiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor) a bordo del satélite Sea Star/NASA. Para ese período el valor medio mensual del AOD a 550 nm es: $\langle AOD_{550} \rangle_m = 0,325 \pm 0,3$. Simultáneamente se ha representado la cantidad mensual total de focos de incendio detectados en la región del Chaco Paraguayo Ampliado. Se observa que los valores de AOD₅₅₀ son altos durante los períodos de quema (Agosto ~ Noviembre de cada año) y que existe una buena coincidencia en la variación de ambas variables graficadas, aun cuando también se encuentran valores importantes de AOD₅₅₀ en otros meses de cada año. El coeficiente Pearson de correlación entre ambos conjuntos de datos es: $p = 0.7644$.

En la Figura 7 se han representado la columna troposférica de NO₂ y el AOD₅₅₀ sobre la zona urbana en estudio para el período Enero 2005 ~ Diciembre 2009. El coeficiente Pearson de correlación entre ambas variables es: $p = 0.6040$. Finalmente en la Figura 8 se ha graficado la evolución temporal del cociente entre valores medios mensuales de la columna troposférica de NO₂ y el valor de AOD₅₅₀ sobre aquella región urbana. Se observa que la relación entre ambos tipos de contaminantes sólo cambia apreciablemente para meses en los que se registran una gran cantidad de incendios en el Chaco Paraguayo Ampliado (ver Figura 2), de donde podría inferirse que la vida media en la atmósfera de las nubes de este gas, difiere significativamente de la del material particulado (aerosoles producidos por las quemadas).

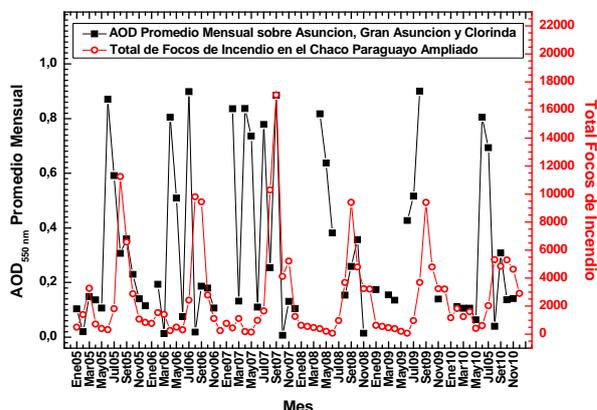


Figura 6. AOD Promedio mensual sobre Asunción, Gran Asunción y Clorinda. Total de focos de incendios en el Chaco Ampliado.

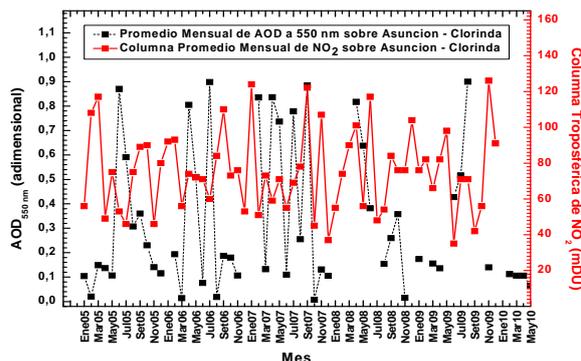


Figura 7. AOD Promedio mensual sobre Asunción, Gran Asunción y Clorinda y columna troposférica media de NO₂ sobre el Chaco Ampliado

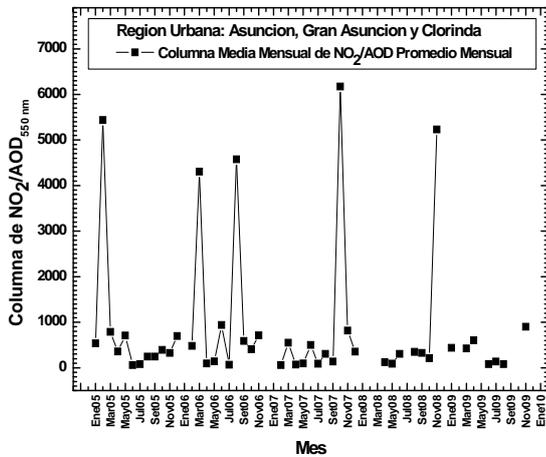


Figura 8. Region urbana: Asunción, Gran Asunción y Clorinda. Columna mensual de NO₂/AOD promedio mensual

5. Un evento particular de nube contaminante

En la Figura 6 puede observarse que en el mes de Setiembre de 2007 se registraron simultáneamente altos

valores en la cantidad de focos ígneos en el Chaco Paraguayo Ampliado y del promedio mensual del AOD₅₅₀ sobre la región urbana en estudio. Esta gran cantidad de incendios se iniciaron hacia fines del mes de agosto, permanecieron con gran intensidad durante setiembre y disminuyeron recién en la segunda semana de octubre. En todo ese período se generaron densas nubes de contaminación que se expandieron por una extensa región del Paraguay, del norte de Argentina, sur de Bolivia y de Brasil.

La Figura 9 muestra como ejemplo, imágenes satelitales del AOD₅₅₀ sobre la región, obtenidas con el equipo MODIS a bordo de los satélites Terra y Aqua de la NASA para los días 7, 10 y 14 de setiembre. En ellas se ha indicado con una flecha la ubicación de Asunción, Gran Asunción y Clorinda. Pueden apreciarse también las retro trayectorias respectivas de las masas de aire que llegaron en esos días a esa zona urbana a las 14hs UT (hora aproximada de sobrevuelo del satélite), a distintas alturas sobre el nivel del suelo. Las mismas fueron obtenidas por aplicación del modelo HYSPLIT, desarrollado por el Air Resources Laboratory de la NOAA. Estas testimonian las procedencias de las nubes de contaminación que afectaron en esos días los centros urbanos mencionados.

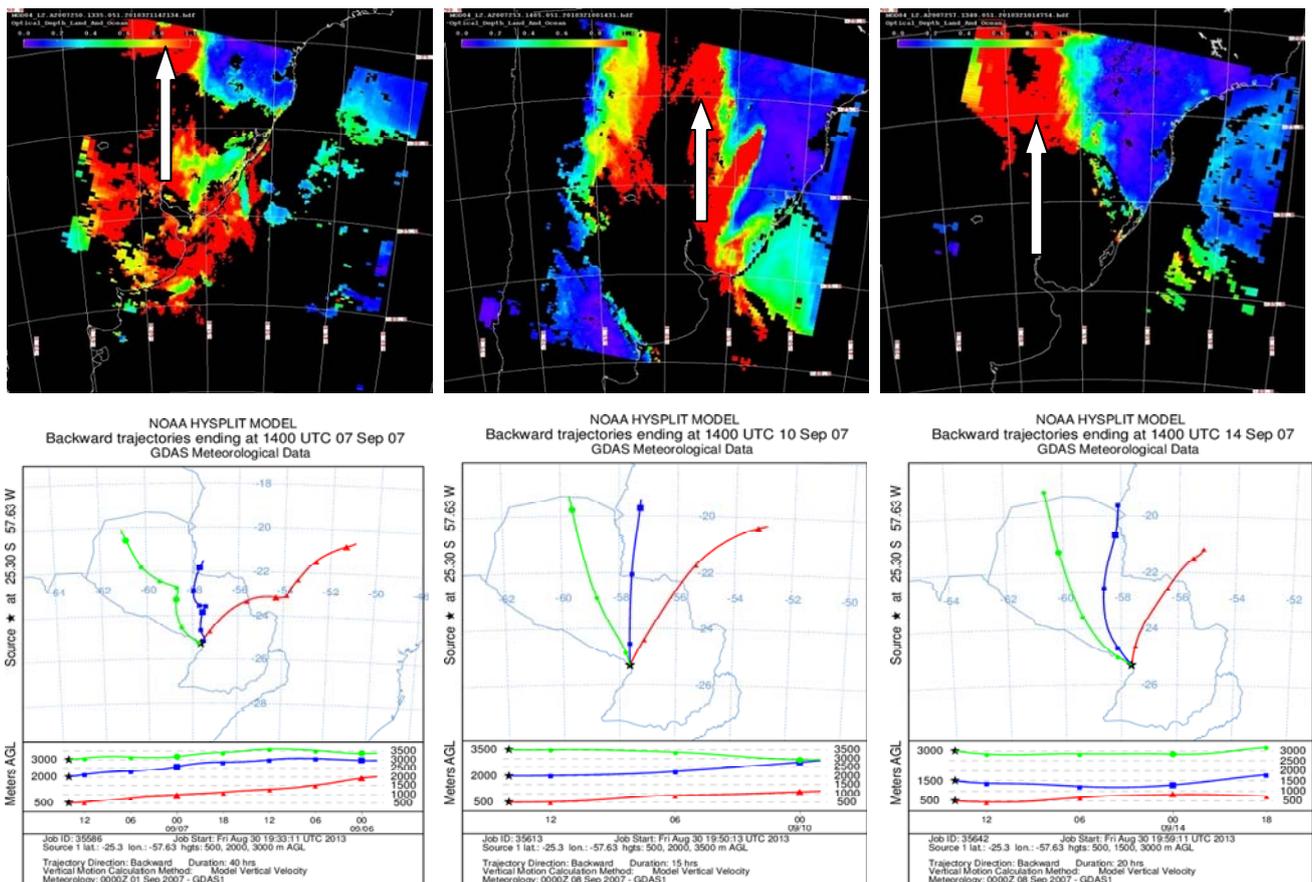


Figura 9. Un evento particular de nube contaminante

6. Conclusiones:

- En la región individualizada como Chaco Paraguayo Ampliado se producen gran cantidad de incendios entre los meses de agosto y noviembre de cada año, los que generan intensas nubes de contaminación que se extienden sobre los territorios de Paraguay y parte de Argentina, Bolivia y Brasil. En el período 2005 ~ 2010 el número máximo de focos de incendio detectados para un dado mes en la región del Chaco Paraguayo fue $N_{f,max} = 17065$ (lo cual ocurrió en septiembre de 2007), mientras que el valor medio mensual de focos de incendio en los meses de agosto y septiembre del período citado fue $\langle N_f \rangle = 10744$. La densidad de focos ígneos en el período de quema es, en promedio, del orden de 60 focos/1000 km².
- En el mismo período, los valores de la columna troposférica de NO₂ sobre Asunción, Gran Asunción y Clorinda, si bien muestran alguna influencia de las nubes contaminantes generadas en los incendios del Chaco Paraguayo Ampliado, ésta no es decisiva en el valor medio anual de la misma, el cual resulta ser de 74,4 mDU. El máximo valor de la columna troposférica de NO₂ registrada sobre Asunción-Clorinda fue $C_{NO_2,max} = 822$ mDU mientras que la media mensual en los meses de agosto – septiembre es: $\langle C_{NO_2} \rangle_m = 78,2$ mDU.
- El valor medio mensual del AOD a 550 nm sobre Asunción, Gran Asunción y Clorinda es: $\langle AOD_{550} \rangle = 0,325 \pm 0,3$. Existe una buena coincidencia entre la variación temporal de este AOD₅₅₀ y la de los focos de incendio. El coeficiente Pearson de correlación entre ambos conjuntos de datos es: $p = 0,7644$.
- La evolución espacio-temporal del evento de contaminación sobre esta región densamente poblada, entre Agosto y Octubre de 2007 afectó significativamente la calidad del aire. Las retrotrayectorias de las masas de aire para días de alta contaminación, obtenidas a partir del modelo HYSPLIT, muestran que dicho evento tuvo su origen en las quemadas de biomasa ocurridas en la región del Chaco Paraguayo Ampliado.
- La evolución temporal del cociente entre valores

diarios de la columna troposférica de NO₂ y del AOD550 nm sobre las regiones urbanas en estudio, dan indicación de que la vida media en la atmósfera de las nubes de este gas, difiere significativamente de la del material particulado (aerosoles).

- Finalmente puede afirmarse que las ciudades de Asunción y Clorinda, así como extensas zonas aledañas, están sometidas a múltiples e importantes eventos anuales de contaminación, generados en gran medida por fuentes externas.

Referencias

1. Smoke, Clouds, and Radiation-Brazil (SCAR-B) experiment. Y. J. Kaufman, P. V. Hobbs, V. W. J. H. Kirchhoff, P. Artaxo, L. A. Remer, B. N. Holben, M.D. King, D. E. Ward, E. M. Prins, K. M. Longo, L. F. Mattos, C. A. Nobre, J. D. Spinhirne, Q. Ji, A.M. Thompson, J. F. Gleason, S. A. Christopher y S.-C. Tsay. *Journal of Geophysical Research*, 103, D24, 31,783-31,808, 1998.
2. SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-MODIS. Yoram J. Kaufman, Richard G. Kleidman y Michael D. King, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 103, D24, 31955-31968, 1998.
3. Atmospheric effects on insolation in the Brazilian Amazon: Observed modification of solar radiation by clouds and smoke and derived single scattering albedo of fire aerosols. J. S. Schafer, B. N. Holben, T. F. Eck, M. A. Yamasoe y P. Artaxo, *Journal of Geophysical Research*, 107, D20, LBA 41-1-LBA 41-15, 2002.
4. Fire in the Earth system. David MJS Bowman, Jennifer K Balch, Paulo Artaxo, William J Bond, Jean M Carlson, Mark A Cochrane, Carla M D'Antonio, Ruth S DeFries, John C Doyle, Sandy P Harrison, Fay H Johnston, Jon E Keeley, Meg A Krawchuk, Christian A Kull, J Brad Marston, Max A Moritz, I Colin Prentice, Christopher I Roos, Andrew C Scott, Thomas W Swetnam, Guido R Van Der Werf, Stephen J Pyne. *Science*, 324, 5926, 481-484, 2009.
5. Global satellite analysis of the relation between aerosols and short-lived trace gases; J. P. Veefkind, K. F. Boersma, J. Wang, T. P. Kurosu, N. Krotkov, K. Chance, and P. F. Levelt; *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 1255-12