

## LA ATMÓSFERA DE LA PAZ EN LA NOCHE DE SAN JUAN

Marcos F. Andrade<sup>1</sup>, Francesco Zaratti<sup>2</sup>

*Laboratorio de Física de la Atmósfera  
Instituto de Investigaciones Físicas, UMSA*

### RESUMEN

En Bolivia existe la tradición de quemar madera y otros trastes viejos en la noche de San Juan, razón por la cual se emiten a la atmósfera, en cantidades anómalas, tres clases principales de contaminantes: aerosoles (humo y cenizas), dióxido de carbono y sustancias químicas derivadas de la combustión de fuegos pirotécnicos.

Este año (2007) se han realizado mediciones variadas de dióxido de carbono, ozono superficial y radiación ultravioleta principalmente, con el fin de evaluar el impacto ambiental de esa tradición.

Los resultados muestran un peligroso desplazamiento de los agentes contaminantes, de los aerosoles y dióxido de carbono al incremento de ozono superficial, producto de los fuegos pirotécnicos masivos.

*Descriptores: Ozono Superficial, Contaminación Urbana.*

### 1. INTRODUCCIÓN

Una popular tradición, que mezcla elementos indígenas con costumbres traídas desde Europa, se realiza en la noche de San Juan en Bolivia, cuando las familias suelen encender fogatas para quemar madera y otros trastes viejos, con el fin, según el origen de la tradición, de espantar el frío del solsticio de invierno, despertar al sol para que no siga alejándose hacia el norte o anunciar el nacimiento de Juan el Bautista.

Si bien las fogatas han sido prohibidas en áreas urbanas debido a consideraciones ambientales, la tradición de reunirse, quemar algo y trasnocharse en familia sigue vigente, con el añadido de que muchas familias han reemplazado el encendido del fuego por la quema de fuegos pirotécnicos que se venden en abundancia y variedades.

Este año el Laboratorio de Física de la Atmósfera (LFA), perteneciente al Instituto de Investigaciones Físicas de la Universidad Mayor de San Andrés, ha realizado un seguimiento, con sus principales instrumentos, y una evaluación del comportamiento de algunos gases atmosféricos afectados por la tradición de la noche de San Juan.

### 2. INSTRUMENTOS

Los principales instrumentos utilizados en el estudio han sido:

- a. El espectrofotómetro Brewer 056, que es parte de la Red de Ozono y UV del Instituto de Pesquisas Espaciais del Brasil (INPE), para mediciones de la columna de ozono y la intensidad de la radiación ultravioleta, instalado en el LFA en Cota Cota (3420 m snm).

- b. Dos monitores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) marca LI-COR modelo LI-820, el primero colocado en el LFA y el otro en el monte Chacaltaya (5200 m snm) con el fin de comparación.
- c. Dos analizadores de ozono superficial, uno marca Thermo Environmental Instruments, Modelo TEI 49, ubicado en el LFA y el otro marca API Teledyne, Modelo M-400-E, en operación en el centro de la esta ciudad.
- d. Un medidor de aerosoles CIMEL, que es parte de la Red AERONET de la NASA.

Los instrumentos, oportunamente calibrados, estuvieron funcionando desde varios días antes y después de la noche de San Juan, pero, para fines del presente estudio sólo se tomaron en cuenta los datos significativos del evento.

Adicionalmente, se utilizaron imágenes satelitales (MODIS) de los días anteriores y posteriores para tener una visión de conjunto de la evolución de la atmósfera sobre la región de La Paz.

### 3. ANÁLISIS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se analizan, de manera preliminar, los datos obtenidos de cada instrumento, se interpretan algunos resultados y se discuten sus alcances.

- 3.1. La Figura 1 muestra imágenes satelitales tomadas por el instrumento MODIS a bordo del satélite Terra de la NASA de la región cercana a la ciudad de La Paz para los días 16 de junio del 2007 (izquierda) y del 24 de junio del mismo año (derecha). El día 16 (izquierda) muestra un día despejado donde el Lago Titicaca y la ciudad de La Paz pueden verse

<sup>1</sup>Email: mandrade@atmos.umd.edu.bo

<sup>2</sup>Email: zaratti@fiumsa.edu.bo

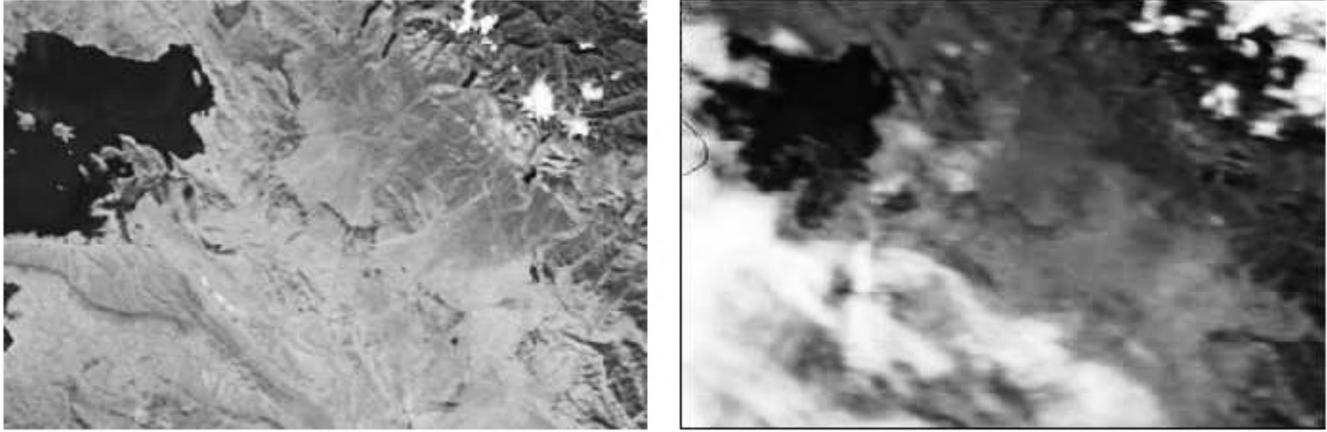


Figura 1.

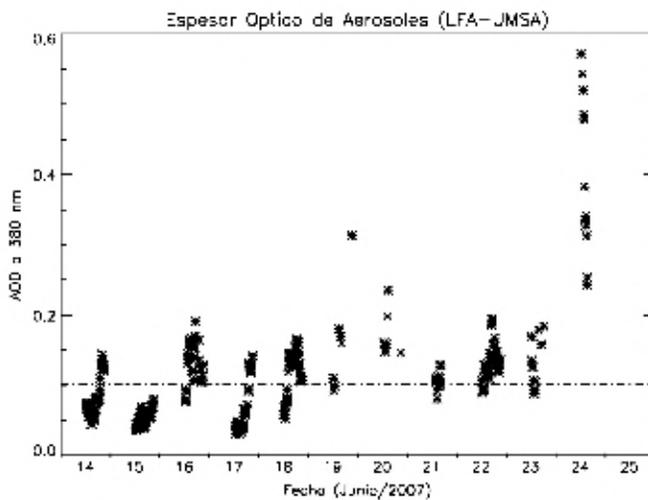


Figura 2.

claramente. En cambio el día 24 presenta nubosidad aunque la zona sobre la ciudad se muestra libre de nubes. A pesar de eso, el área se ve gris indicando la presencia de abundante humo sobre la ciudad. Los instrumentos en tierra confirman la presencia de esta humareda.

Sin embargo es importante señalar que, gracias a la topografía peculiar de la ciudad de La Paz, que se extiende en altitud desde 4000 m snm hasta 2800 m snm, los gradientes de temperatura y presión entre la zona alta y la baja tienden a despejar rápidamente la contaminación cercana a la superficie de la ciudad, aspecto confirmado por la medidas en superficie.

3.2 La Figura 2 muestra los datos recolectados por un radiómetro espectral CIMEL instalado en los predios de la Carrera de Física de la UMSA en el campus universitario de Cota Cota. El equipo permite medir el espesor óptico de las partículas en suspensión en la atmósfera (básicamente humo y cenizas en nuestro caso). A más grande este espesor mayor

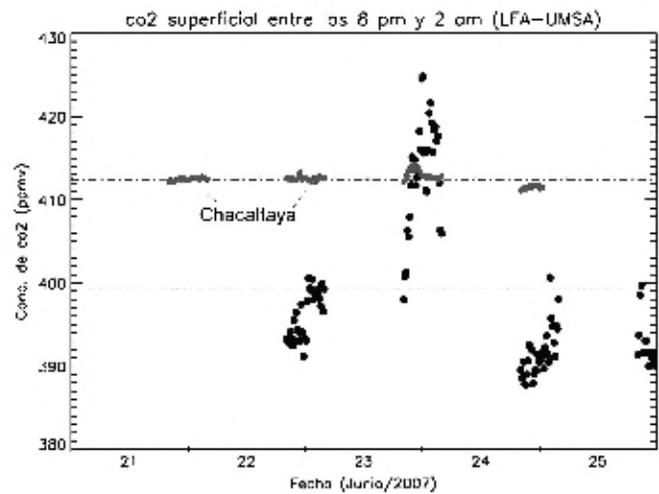


Figura 3.

la cantidad de partículas que flotan en el aire. Como se ve en la figura, existe un fuerte incremento de la cantidad de dichas partículas el día 24 de junio del presente año. Debido a que las medidas sólo pueden ser realizadas de día, puesto que el instrumento usa la luz del sol para este propósito, los puntos corresponden a datos tomados desde las 8 am hasta las 5 pm aproximadamente. La línea punteada muestra el promedio de estas medidas para los días previos al 24 de junio.

3.3 En cuanto al dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) superficial, en la Figura 3 siguiente se aprecian los valores medidos en Cota Cota (rojo) y Chacaltaya (azul). En ambos lugares el  $\text{CO}_2$  tuvo un pico en la noche de San Juan por efecto de la quema de leña, pero el incremento fue de 30 unidades en Cota Cota (8%) y de sólo dos unidades en Chacaltaya (0.5%). Ese resultado indica que, en lo que respecta al  $\text{CO}_2$ , el efecto de las quemadas es local y, además, desaparece rápidamente, como se explicó líneas arriba.

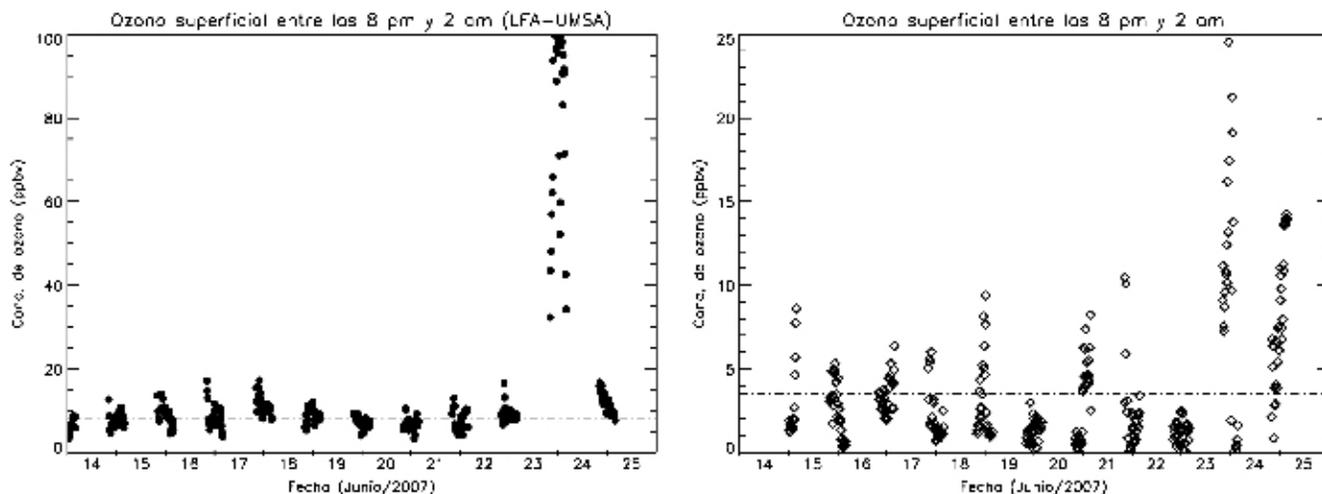


Figura 4.

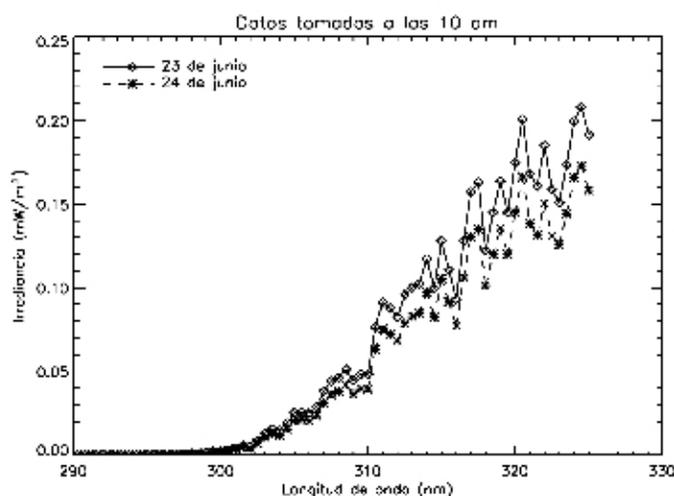


Figura 5.

3.4 El ozono superficial ( $O_3$ ), a diferencia del ozono estratosférico, es un gas dañino para la salud y es producido por el efecto de la luz ultravioleta solar sobre los gases contaminantes emitidos por los coches y las industrias. Los monitores de ozono ubicados en el centro de la ciudad (frente a la HAM, ver Figura 4 a la derecha) y en Cota Cota (a la izquierda) muestran un incremento importante de ese gas en la noche de San Juan (nótese las diferentes escalas usadas). Debido a la ausencia de luz solar, la explicación más probable es que la luz ultravioleta de los fuegos pirotécnicos sea responsable del pico de  $O_3$  que en Cota Cota superó inclusive el máximo que mide el instrumento (100 partes por billón) a diferencia del centro de la ciudad donde la subida fue menos espectacular. Ese hecho confirma indirectamente la explicación anterior, debido a la mayor cantidad de fuegos artificiales quemados en la zona Sur, y debería alertar a las autoridades sobre las consecuencias de la tendencia a reemplazar a la leña tradicional con fuegos pirotécnicos, tanto más que el

efecto nocivo del  $O_3$  persiste hasta entrado el día 24.

3.5 La intensidad de la radiación ultravioleta medida por el espectrofotómetro Brewer y los radiómetros UVB-1 marca YES es consistente con la mayor presencia de aerosoles y otros contaminantes en la atmósfera y, además, es afectada por la nubosidad del día. Más interesante es la comparación de intensidades espectrales en días consecutivos (Fig. 5), bajo similares condiciones de nubosidad para apreciar como la atmósfera se ha ido “ensuciando” en torno a la noche de San Juan.

#### 4. CONCLUSIONES

El monitoreo del dióxido de carbono realizado en la ciudad de La Paz muestra que la concentración de ese gas se incrementó 8% del valor de los días anteriores. El incremento es local y muy poco se siente, por ejemplo, en Chacaltaya (5200 m snm), debido a la altura. Esto sugiere además que la capa límite se encontraba por debajo o muy cerca de Chacaltaya.

La capa de humo, que durante toda la mañana del día 24 de junio ha estado presente en el aire de La Paz, es señal de la presencia abundante de aerosoles. El incremento medido (5 veces el valor normal) ha producido la disminución de la intensidad de la radiación solar y, en particular, de la Radiación Ultravioleta (- 12%) a lo largo de la mañana del día 24 de junio.

Los fuegos pirotécnicos, a su vez, son los causantes del fuerte incremento de la concentración del Ozono superficial (que es dañino para la salud). El monitor de Cota Cota llegó a saturarse, o sea llegó a su máximo valor medible, y el del centro de la ciudad mostró un pico pronunciado y valores elevados persistentes hasta la mañana del día 24.

Por tanto, si bien la topografía de la ciudad de La Paz ayuda a mitigar rápidamente los efectos de las quemadas, las autoridades deberían prestar mayor atención al abuso de fuegos pirotécnicos, quien sabe organizando un único gran espectáculo para toda la ciudadanía en reemplazo de los miles de pequeños fuegos artificiales que se realizan en las casas.

### **Agradecimientos**

El presente estudio es preliminar y ha contado con la valiosa colaboración de los colegas del LFA-UMSA Juan García Fuentes, Eduardo Palenque y René Gutiérrez, y del Ing. Pablo Aldunate de la Oficialía Mayor Técnica del Gobierno Municipal de La Paz.

Los autores agradecen la preciosa colaboración técnica del Sr. Gonzalo Gutiérrez y la cooperación, a través de los instrumentos, de:

- \* Programa Nacional de Cambios Climáticos – MPD.
- \* Dirección de Calidad Ambiental - Oficialía Mayor Técnica – Gobierno Municipal de La Paz.
- \* Swiss Contact, Proyecto Aire Limpio.
- \* Red Aeronet – NASA, USA.
- \* Departamento. de Meteorología, Universidad de Maryland, USA.
- \* Instituto Nacional de Pesquisas Espaciales del Brasil.