

# VALIDACIÓN DE LA COLUMNA VERTICAL DE NO<sub>2</sub> MEDIDA POR SCIAMACHY A BORDO DEL SATÉLITE ENVISAT, CON INSTRUMENTOS DE TIERRA EN LA REGIÓN ANTÁRTICA

Navarro, M.<sup>1</sup>, Yela, M.<sup>1</sup>, Alonso, I.<sup>1</sup>, Gil, M.<sup>1</sup>, Ochoa, H.<sup>2</sup>, Araujo, J.<sup>2</sup> y Rodríguez, H.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Área de Observación de la Tierra, Teledetección y Atmósfera, Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA), C/ Ajalvir km4, 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid, navarrocm@inta.es

<sup>2</sup> Departamento de Alta Atmósfera, Instituto Antártico Argentino (DNA/IAA), Argentina

**Palabras clave:** Antártida, SCIAMACHY, DOAS, validación, satélite, NO<sub>2</sub>

**Keywords:** Antarctica, SCIAMACHY, DOAS, validation, satellite, NO<sub>2</sub>

## RESUMEN

El objeto de la validación de los instrumentos embarcados en satélites es asegurar que los valores obtenidos a partir de las observaciones realizadas en órbita, tienen los requerimientos de calidad necesarios para realizar las investigaciones científicas previstas aplicando esas medidas. Desde esta perspectiva de utilidad científica, es necesario contrastar que los resultados obtenidos se ajustan a las observaciones realizadas desde diferentes plataformas de observación (avión, tierra, globos y barcos) y con diferentes técnicas de medida.

En este trabajo se presenta la validación de la columna total de NO<sub>2</sub> obtenida por SCIAMACHY con los valores obtenidos desde tierra por instrumentos emplazados en la Antártida. El instrumento SCIAMACHY (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography), embarcado en el satélite ENVISAT (Environmental Satellite) de la ESA (European Space Agency), en operación desde el año 2002, es un espectrómetro cuyo objetivo principal se centra en la medida global de gases traza en la troposfera y estratosfera. Se han comparado las columnas totales de NO<sub>2</sub> de SCIAMACHY correspondientes al periodo 2004-2006, procedentes de los productos operacionales Off-line versión 3.0 y los generados en IFE/IUP (Institut für Fernerkundung/Institut für Umweltphysik) Bremen, con los valores obtenidos por espectrómetros DOAS instalados en las estaciones de Marambio y Belgrano II.

## ABSTRACT: VALIDATION OF NO<sub>2</sub> VERTICAL COLUMN OF SCIAMACHY, ON BOARD ENVISAT SATELLITE, BY GROUND-BASED ANTARTIC AREA INSTRUMENTS

The main purpose of the validation exercises of satellite-boarded instruments is to assure that the observations have the high quality required for scientific research. From this perspective, data have to agree with co-located measurements from different platforms (aircraft, ground-based, balloons and ships) and observations techniques.

NO<sub>2</sub> total column densities obtained by SCIAMACHY are validated by means of ground-based instruments installed in the Antarctic area. The SCIAMACHY instrument (Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography) is a spectrograph devoted to global measurements of trace gases in the troposphere and stratosphere. It is in operation since 2002. NO<sub>2</sub> SCIAMACHY total columns for the period 2004-2006 from operational Off-line products version 3.0, and those scientific product generated by Bremen IFE/IUP are compared by the ground-based DOAS spectrometers deployed in Marambio and Belgrano II stations.

## INTRODUCCION

La observación de la columna total de  $\text{NO}_2$  y de  $\text{O}_3$  puede realizarse utilizando métodos químicos de medida in situ (principalmente a bordo de globos estratosféricos o en aviones) o por detección remota desde tierra en el rango del UV/Visible o en el infrarrojo. Este último método puede ser aplicado también desde satélite, suministrando medidas globales de la distribución del  $\text{NO}_2$ , perfiles verticales y columnas totales de estos compuestos.

Los instrumentos de satélite proporcionan una cobertura total y nos facilitan una visión global de lo que está ocurriendo simultáneamente en toda la Tierra. Además permiten la observación continuada durante un periodo largo de tiempo, necesaria para el estudio de tendencias. Sin embargo, es necesario contrastar los resultados obtenidos con estos instrumentos con las observaciones realizadas desde tierra, ya que se trata de instrumentos calibrados que están siendo sometidos a controles de calidad periódicos. Estas comparaciones son de especial importancia en zonas polares debido a que sus características geográficas hacen que el número de instrumentos disponibles sea menor que en otras latitudes.

## INTRUMENTACIÓN Y DATOS

En el año 1994 se inició un programa de monitorización continuada de las columnas totales de  $\text{NO}_2$  y  $\text{O}_3$  en la región antártica y subantártica gracias a un Convenio de colaboración entra la Dirección Nacional del Antártico/Instituto Antártico Argentino (DNA/IAA) y el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial de España INTA . Se instalaron tres espectrómetros denominados EVA (Espectroscopía de Absorción en el Visible) en Ushuaia ( $55^\circ\text{S}$ ,  $68^\circ\text{W}$ ), Marambio ( $64^\circ\text{S}$ ,  $56^\circ\text{W}$ ) y Belgrano II ( $78^\circ\text{S}$ ,  $35^\circ\text{W}$ ). El objetivo de este programa de observación es el de estudiar la estratosfera antártica.

Los instrumentos, concebidos y desarrollados en el INTA, son espectrómetros de barrido que operan en el visible, en el rango 430 - 450 nm para la medida del  $\text{NO}_2$  y en 470 - 490 nm para la medida del  $\text{O}_3$  (Yela et al., 2005). El principio de medida utilizado (DOAS) consiste en el análisis de espectros obtenidos por un instrumento durante los crepúsculos y apuntando al cenit. En estas condiciones, el recorrido óptico de los rayos solares en la atmósfera antes de alcanzar el detector, es unas 20 veces mayor que el existente midiendo a sol directo cuando éste se encuentra en la vertical. Una de las principales ventajas de este método es que cuando el sol se encuentra en el horizonte, la mayor contribución de la radiación cenital procede de la estratosfera y contiene la información espectral deseada.

El instrumento SCIAMACHY, embarcado en el tercer satélite de observación de la ESA, ENVISAT, recoge la radiación solar que ha sido retrodifundida por la atmósfera o la superficie terrestre operando en el rango de longitudes de onda de 240 a 2380 nm. Su amplio rango de operación (ultravioleta, visible e infrarrojo cercano) hace posible que sea capaz de detectar muchos constituyentes atmosféricos ( $\text{O}_3$ , BrO, OCIO, ClO,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}$ ,  $\text{NO}_2$ , CO,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) incluso con bajas concentraciones, además, de la detección de nubes y aerosoles. SCIAMACHY opera con tres geometrías de visión diferentes: nadir, horizonte, y ocultación solar o lunar. En el modo NADIR de operación se puede observar la distribución global (valores de columnas totales) de gases y aerosoles.

De los productos proporcionados por SCIAMACHY, se ha utilizado la columna total de  $\text{NO}_2$  obtenida a partir de las observaciones al Nadir. El análisis de dichas observaciones está basado en la técnica DOAS, utilizándose el rango de longitud de onda de 425-450 nm. Una descripción mas detallada puede encontrarse en Richter & Burrows, (2002).

Para la comparación se ha utilizado, en primer lugar, las columnas verticales de  $\text{NO}_2$  generadas en IFE/IUP (Universidad de Bremen), versión 2.0, desde el 2002 hasta noviembre de 2006. Son denominados productos científicos, y están basados en los productos operacionales del Nivel 0 y los espectros no calibrados del Nivel 1 proporcionados por el DFD/DLR (Deutschen Fernerkundungsdatenzentrums/Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt) Oberpfaffenhofen y ESRIN (European Space Research Institute)/ESA. En se-

gundo lugar, se han utilizado los datos operacionales orbitales del nivel 2 distribuidos por ESA, versión Off-line 3.0. Estos últimos, disponibles desde noviembre de 2004. Estos dos grupos de resultados se han comparado con los obtenidos a partir del análisis de los espectros de los instrumentos DOAS adquiridos durante los crepúsculos de la mañana, de acuerdo con la metodología establecida por el grupo CALVAL de ESA (Lambert et al., 2004), ya que ENVISAT es un satélite de órbita polar heliosíncrona, con un paso aproximado sobre la vertical a las 10:00 de la mañana hora local. Para la comparación se han empleado datos correspondientes al periodo comprendido entre 2004 y 2006 en Marambio y Belgrano II.

## RESULTADOS

En las figuras 1 y 2 se presentan los valores medios de las observaciones realizadas por los espectrómetros de Marambio y Belgrano en los crepúsculos de la mañana, para ángulos cenitales (sza) entre 88 y 91. En el caso de SCIAMACHY, los valores representados en dichas figuras corresponden al valor medio de todas las observaciones realizadas en el radio 5° en latitud y longitud alrededor de la estación considerada. En el caso de las medidas realizadas a latitudes altas no siempre se disponen de medidas a sza similares a las utilizadas por los instrumentos de tierra. En las figuras 3 y 4 se puede observar el sza de las observaciones realizadas por SCIAMACHY, en el caso de Marambio oscila entre 50° en verano y 92° en invierno mientras que para Belgrano II el rango de sza se encuentra entre 65° y 92°.

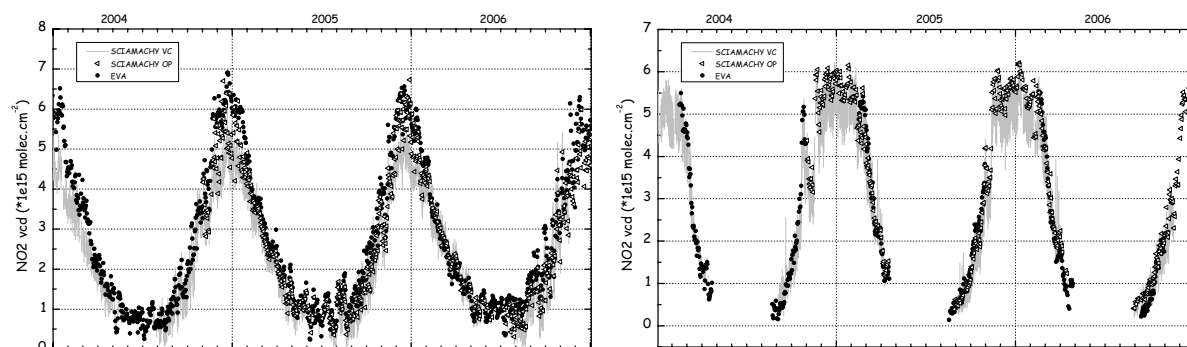


Fig. 1 y 2: Columnas verticales de NO<sub>2</sub> obtenidas por el instrumento EVA y el SCIAMACHY correspondientes a Marambio (izquierda) y Belgrano II (derecha)

Las mayores fuentes de incertidumbre asociadas con la comparación de las observaciones de SCIAMACHY con las realizadas desde tierra son tres: (a) el ciclo diario de los NO<sub>x</sub>, (b) la variabilidad natural del NO<sub>2</sub> y (c) la sensibilidad al NO<sub>2</sub> troposférico de las medidas realizadas al NADIR (Lambert et al. 2004). En el caso de Marambio y Belgrano II, este último punto no tiene relevancia ya que se trata de lugares no contaminados y con valores de NO<sub>2</sub> troposférico muy bajos.

El NO<sub>2</sub> tiene una fuerte variabilidad fotoquímica durante el día, con una alternancia día/noche de la columna total de NO<sub>2</sub> y con valores diferentes entre el crepúsculo de la mañana y de la tarde según la época del año. Este control es ejercido por el ciclo solar, por la distribución vertical de los NO<sub>x</sub>, de la temperatura en las capas altas de la atmósfera y algunas veces, en latitudes altas, de otras especies activas.

En la figura 1 se muestran los resultados de la estación de Marambio y en la 2 los de Belgrano. En ambos casos se observa un buen ajuste entre las observaciones y los dos análisis de los espectros tomados por SCIAMACHY, reproduciéndose bien las ondas anuales y los episodios de periodo corto. Se observa un mejor ajuste en el caso de Belgrano II.

En la figura 3 y 4 se muestran las diferencias absolutas obtenidas en cada estación. En Marambio la desviación típica de las diferencias absolutas es de  $5.6 \times 10^{14}$  molec/cm<sup>2</sup> entre las observaciones desde tierra y las operacionales (OP), y de  $7.4 \times 10^{14}$  molec/cm<sup>2</sup> entre las observaciones realizadas desde tierra y las de la universidad de Bremen (VC).

Se puede observar una correlación entre las diferencias y el sza de las observaciones realizadas desde satélite, de tal manera que durante el verano, las diferencias entre lo observado por SCIAMACHY y EVA son mayores y están asociadas con la gran diferencia de sza entre las medidas (50 en el caso del SCIAMACHY y 88-91 en el caso del EVA) y la gran diferencia entre las columnas totales a dichos sza. Durante el invierno las medidas que se comparan corresponden a sza similares y las diferencias para ambos análisis se encuentran entre 0 y  $-5 \times 10^{14}$  molec/cm<sup>2</sup>. En el caso de Belgrano II, al disponer de menos medidas desde tierra ya que el sol no alcanza los 88° de sza en determinadas épocas del año, no se aprecia el caso antes mencionado. En la figura 4, se muestran las diferencias absolutas, con valores de desviación típica de  $3.0 \times 10^{14}$  molec/cm<sup>2</sup> (OP) y de  $3.7 \times 10^{14}$  molec/cm<sup>2</sup> (VC). Las diferencias observadas durante la primavera y otoño austral son muy pequeñas.

Podemos concluir que las diferencias presentan una modulación debida a la variabilidad del sza en el caso de las medidas realizadas desde satélite. Por esta razón es aconsejable en latitudes altas corregir de la variabilidad fotoquímica del NO<sub>2</sub> entre las medidas de tierra y las obtenidas por SCIAMACHY utilizando un modelo químico.

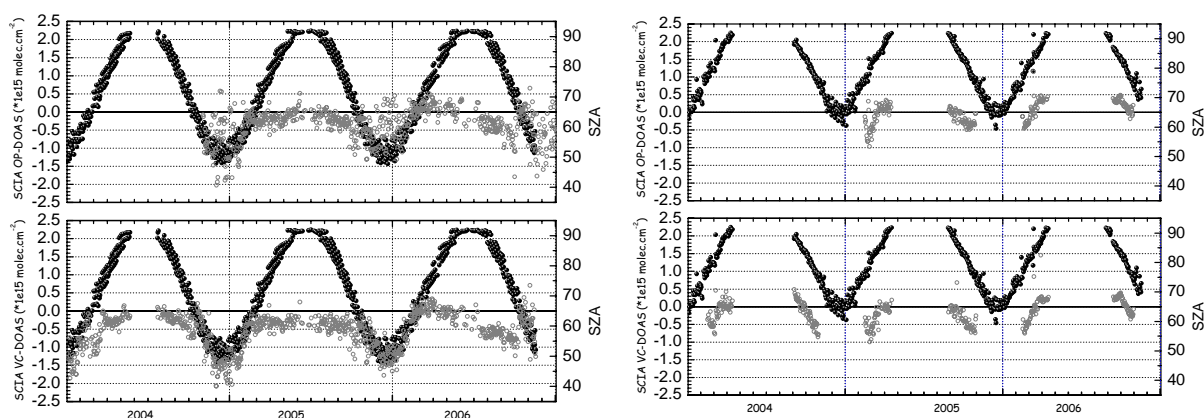


Fig. 3 y 4: Diferencias absolutas entre los valores obtenidos desde tierra (izquierda Marambio y derecha Belgrano II) y los obtenidos por los dos análisis de los espectros de SCIAMACHY (gris) y el sza al que están tomadas las medidas desde el satélite (negro).

Otro hecho a tener en cuenta es que el aumento del ángulo cenital solar de las medidas realizadas por el satélite durante el invierno lleva asociado una menor intensidad de radiación disponible y por lo tanto un mayor ruido en las medidas con el consiguiente aumento de las incertidumbres. Esto se refleja en una mayor dispersión en las diferencias.

## BIBLIOGRAFIA

- Lambert, J.-C., M. Allaart, S.B. Andersen, T. Blumenstock, G. Bodeker, E. Brinksma, C. Cambridge, M. De Mazière, P. Demoulin, P. Gerard, M. Gil, F. Goutail, J. Granville, D. V. Ionov, E. Kyrö, M. Navarro-Comas, A. Piters, J-P. Pommereau, A. Richter, H.K. Roscoe, H. Schets, J.D. Shanklin, T. Suortti, R. Sussmann, M. Van Roozendael, C. Varotsos, T. Wagner, S. Wood, y M. Yela, 2004. First Ground-based Validation of SCIAMACHY V5.01 O3 Column, ESA Publications, SP-562, 8 pp.
- Richter, A., y J. P. Burrows, 2002. Retrieval of Tropospheric NO<sub>2</sub> from GOME Measurements, *Adv. Space Res.*, 29(11): 1673-1683.
- Yela, M., C. Parrondo, M. Gil, S. Rodríguez, J. Araujo, H. Ochoa, G. Deferrari y S. Díaz, 2005. The September 2002 Antarctic vortex major warming as observed by visible spectroscopy and ozonesoundings, *International Journal of Remote Sensing*, V26, N16: 3361-3376