

## **RELEVAMIENTO DEL ESPESOR DE OZONO ESTRATOSFÉRICO EN LA PROVINCIA DE SANTA CRUZ A PARTIR DE IMÁGENES SATELITALES**

J. González<sup>1</sup>, J. C. Encinas<sup>1</sup>, G. Arenas<sup>2</sup>, B. Milicic<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional de la Patagonia Austral, Unidad Académica San Julián  
Colón y Sgto. Cabral – C.P. 9310 – Pto. San Julián – Tel/fax: 02962 452319 – e-mail: jfgp58@yahoo.com.ar

<sup>2</sup>Servicio meteorológico Nacional, Aeródromo Pto. San Julián

<sup>3</sup>Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Unidad Académica Río Gallegos -  
Lisandro de la Torre 1070 – C.P. 9400 – Río Gallegos - Tel. 02966-442317 – Fax 02966- 442620  
e-mail: bmilicic@uarg.unpa.edu.ar

### **Resumen:**

A pesar de que la provincia de Santa Cruz se ve afectada periódicamente por el “agujero de ozono”, se han realizado escasas mediciones sistemáticas de espesores totales de ozono desde tierra. Es por ello que se lleva a cabo en la UNPA un proyecto cuyo objetivo es el relevamiento de espesores de ozono tomados de imágenes satelitales del TOMS, publicados en la página web de la NASA, para diferentes regiones de la provincia, durante el período 1978/2005. En este trabajo se presenta la sistematización realizada para las localidades de Caleta Olivia, San Julián y Calafate y la correlación con las mediciones en tierra para Comodoro Rivadavia (Chubut), Ushuaia (Tierra del Fuego) y San Julián. Se observa que Calafate es la más afectada, San Julián lo es en menor medida y Caleta Olivia lo ha sido esporádicamente, sólo en los últimos años. Ha aumentado la frecuencia anual de espesores entre 220 y 300 UD, siendo más pronunciado el aumento en la zona sur. La validación con los datos en tierra muestra buena correlación.

**Palabras clave:** agujero de ozono, ozono estratosférico, radiación UV, imágenes satelitales

### **INTRODUCCIÓN**

El ozono es un gas cuya concentración en la atmósfera es muy baja, del orden de los 10 ppm, encontrándose el 90 % entre los 12 y 50 km de altura, en la estratosfera y el resto debajo de los 12 km de altura, en la troposfera. El ozono estratosférico es necesario para la vida ya que filtra la radiación UV, la cual, dada su energía, puede ionizar moléculas y penetrar en los organismos, pudiendo destruir cadenas de ADN, lo cual ocasionaría mutaciones genéticas. En los últimos treinta años se ha observado una drástica disminución en la concentración de ozono estratosférico durante la primavera sobre la región antártica, fenómeno al que se denominó “agujero de ozono”. Se ha observado asimismo una disminución global de la concentración de ozono estratosférico. Para conocer el rango de estas variaciones, es necesario el monitoreo a largo plazo.

La provincia de Santa Cruz, al estar localizada en la Patagonia Austral, se encuentra periódicamente afectada por el fenómeno denominado “agujero de ozono”. Sin embargo, son escasas las mediciones sistemáticas de concentración de ozono desde tierra en esta provincia: el Servicio Meteorológico Nacional las realizó entre los años 1998 y 2000 en la localidad de San Julián, y en la primavera del año 2005, en la localidad de Río Gallegos, la campaña SOLAR (CEILAP: Citefa-Conicet) (Wolfram et al., 2005) ha medido perfiles de ozono. Los lugares más cercanos a la provincia donde se realizan mediciones sistemáticas son Comodoro Rivadavia (Chubut), Ushuaia (Tierra del Fuego), en la Estación VAG y en el CADIC, y Punta Arenas (Chile), en la Universidad de Magallanes (Ver Figura 1). El espesor de columna total de ozono puede obtenerse además a partir de imágenes satelitales, entre ellas, las generadas con equipo TOMS, realizadas por la NASA desde el año 1978, cuya información está disponible por Internet. (NASA, 2006)

En la UNPA se está llevando a cabo un proyecto cuyo objetivo es el relevamiento del espesor de ozono estratosférico y de exposición UV, es decir, la posibilidad de daño a la piel por eritema generado por radiación UV-B, para distintas zonas de la provincia de Santa Cruz y su validación a partir de la comparación de los datos satelitales con datos terrestres, en el período y los lugares donde estén disponibles. En este trabajo se presenta el relevamiento y la sistematización de la información satelital para tres localidades y su validación para el período de tiempo en que se realizaron mediciones en tierra para las localidades de Comodoro Rivadavia (1999-2005), San Julián (1998/2000) y Ushuaia (1996/2005).

### **SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

La mayor densidad de población de la provincia de Santa Cruz se encuentra a) en el litoral marítimo, b) en la zona norte de la provincia, a lo largo de su límite con la provincia de Chubut y c) en el sur de la zona andina. Es por ello que se decidió sistematizar la información para la zona norte de la provincia, en las localidades de Caleta Olivia (costera) y Los Antiguos

(andina), para la zona marítima: en San Julián que se encuentra en la zona central y Río Gallegos, en la zona sur y en Calafate, que se encuentra en la zona andina, central (Ver Figura 1). En función de los resultados obtenidos en estas localidades, se determinarán otros sitios relevantes.

Hasta el momento se han sistematizado los datos provistos por la NASA para las siguientes localidades: a) San Julián, en la cual para un lapso de dos años hay mediciones en tierra, lo cual facilita su validación, b) Calafate y c) en vez de sistematizar los datos correspondientes a la ciudad de Caleta Olivia, que se encuentra en la zona norte, costera, se lo llevó a cabo para Comodoro Rivadavia. Se optó por hacerlo de esta manera debido a que esa ciudad dista 70 km de Caleta Olivia por lo que los valores de latitud y longitud no presentan variaciones importantes y allí el Servicio Meteorológico Nacional posee equipos con los cuales se mide espesor desde el año 1997, lo cual permite su validación.



Figura 1: Imagen satelital de la Patagonia Austral, en donde se detallan las localidades en las que se lleva a cabo la sistematización de los datos y en donde se encuentran equipos de medición de radiación UV. (Imagen satelital: Atlas Satelital Clarín, 1999)

Los datos provistos por la NASA se encuentran en archivos de texto cada uno correspondiente a un día del año, que contienen tres registros de encabezado seguidos de 2160 registros de datos, organizados en 180 grupos de 12 datos cada uno. Los primeros 11 registros de cada grupo contienen 25 valores codificados de tres dígitos, el registro doceavo contiene 13 datos codificados, seguidos por el valor numérico del centro de latitud de la banda. A cada grupo le corresponde un ancho de banda de 1° de latitud, y a cada valor le corresponde una celda de dimensiones 1° latitud por 1,25° de longitud. A las ciudades de Caleta Olivia y Comodoro Rivadavia, por su proximidad, les corresponde la misma celda, por lo tanto, consideraremos de aquí en adelante que los datos de Comodoro Rivadavia son válidos para la ciudad de Caleta Olivia. Para algunas localidades la NASA ha confeccionado listas bajo el nombre de “overpass data” (NASA, 2006). Las localidades procesadas hasta ahora se encuentran en dicha lista. Si hubo más de diez días sin datos, ese mes no se toma en cuenta.

La sistematización de la información prevista consiste en analizar:

- a) la frecuencia con la cual las diferentes zonas de la provincia se ven afectadas por la disminución en la concentración de ozono y su variación a través del tiempo. Para ello se obtienen las frecuencias mensuales de los datos de espesor de ozono, diferenciados en tres intervalos: 1) mayores a 300 UD, considerados como los valores normales. 2) Inferiores a 220 UD, espesor límite considerado para definir el “agujero de ozono” y 3) entre 220 y 300 UD, que son inferiores a los valores normales, pero que no pueden ser considerados como “agujero de ozono”
- b) las variaciones de los promedios mensuales, los valores mínimos y máximos en el mismo período de tiempo, es decir, desde 1978 hasta 2005, para las mismas localidades
- c) la validación de los datos obtenidos a partir de las imágenes satelitales con los medidos en tierra, donde se disponga de ellos. Hasta el momento se han correlacionado los valores correspondientes a Comodoro Rivadavia, San Julián y Ushuaia. Como esta última localidad se encuentra más al sur que la provincia de Santa Cruz y Comodoro Rivadavia se encuentra más al norte, si en ambos casos la correlación es alta, se podría inferir que en las zonas intermedias también lo sería.

## RESULTADOS OBTENIDOS

En la figura 2 se observan las frecuencias mensuales para los tres intervalos de espesor de ozono para la localidad de San Julián. Se obtuvieron gráficos similares para las localidades de Calafate y Caleta Olivia. Se confeccionaron gráficos con frecuencia anual de espesor correspondiente a “agujero de ozono” y con espesores pertenecientes al rango 220-300 UD, para estas tres localidades, como se observa en la Figura 3.

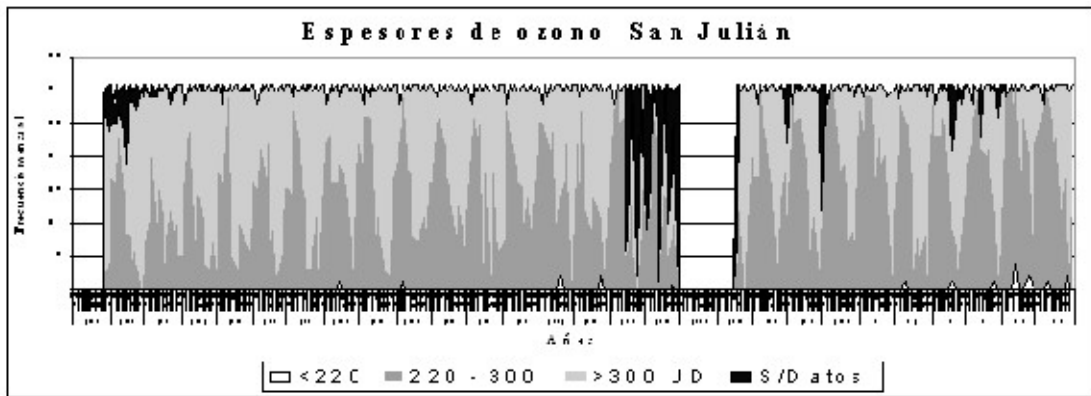


Figura 2: Frecuencia mensual de datos de espesores de ozono para la ciudad de San Julián.

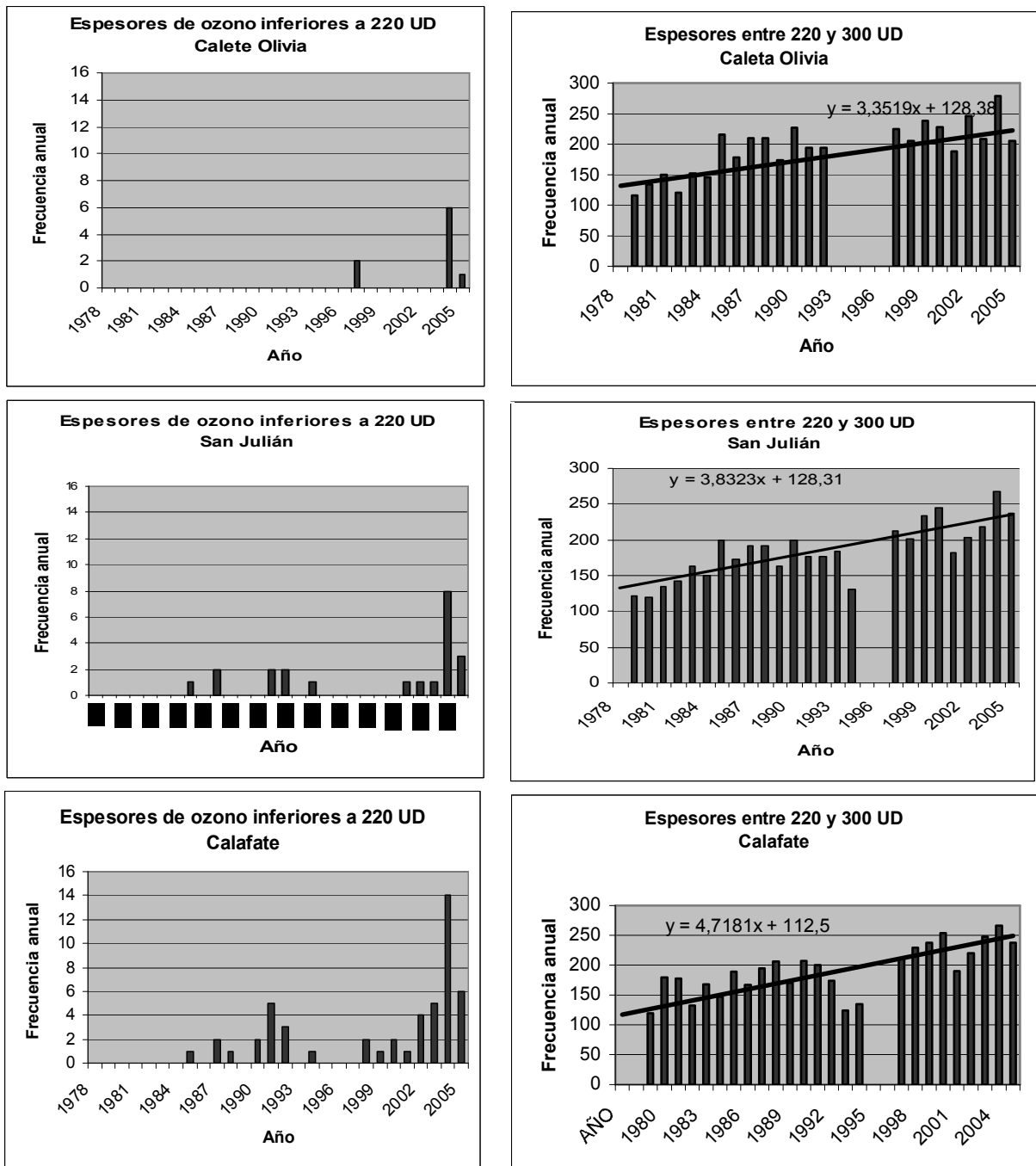


Figura 3: Frecuencias anuales de espesor de ozono estratosférico inferior a 220 UD y pertenecientes al intervalo 220 a 300UD para las localidades de Calafate, San Julián y Caleta Olivia

Se observa que la frecuencia anual de los espesores que se encuentran entre 220 y 300 UD, ha aumentado en forma importante, encontrando pendientes que oscilan entre 3,35 días/año (0,91%) para Caleta Olivia y 4,9 días/año (1,34%) para Calafate. El valor de la pendiente es mayor para la localidad del sur de la provincia y va disminuyendo hacia el norte.

La frecuencia anual de espesores correspondientes a “agujero de ozono” es más importante en los últimos años, siendo mayor la cantidad de días en el sur que en el norte de la provincia, por ejemplo, en Calafate la frecuencia anual es el doble que la de San Julián, si bien han sido afectados los mismos años de forma similar, a partir de 1986. El fenómeno ha afectado a Caleta Olivia sólo en tres años: 1998, 2004 y 2005, por lo cual se podría inferir que es un fenómeno que alcanza a las zonas sur y centro de la provincia. Si se analizan las imágenes satelitales de ozono de las fechas para las cuales el “agujero” llegó hasta Caleta Olivia, se puede observar que su forma es alargada (Fig. 4B), la cual se ha presentado ocasionalmente, en los últimos años.

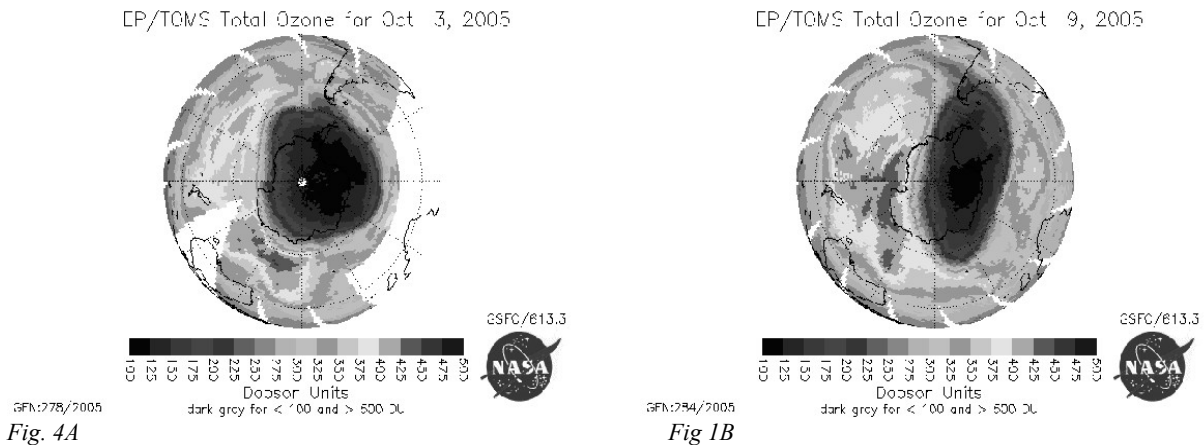


Figura 4: Comparación de la forma usual del “agujero de ozono” (Fig. 4A) con la que ha adoptado algunos días en los últimos años (Fig. 4B). Fuente NASA

En la localidad de San Julián se han observado días con espesores de ozono inferiores a 220 UD cuando no está formado el “agujero de ozono” en los meses de abril (2004 y 2005), mayo (1987 y 2004) y junio (1985), como se observa en la Figura 2. En Calafate se los ha observado en los meses de febrero (2005), abril (1991, 1997, 1999, 2001 a 2005), mayo (1987, 1990, 1997, 2004), junio (1985, 1987, 2002) y julio (1988 y 2004).

La validación de estos datos se ha realizado para las ciudades de Comodoro Rivadavia, Ushuaia y San Julián. Para ello, se obtuvo la relación de los valores registrados por el Servicio Meteorológico Nacional en tierra respecto a los obtenidos por la NASA, En la Figura 5 se muestran los correspondientes a la localidad de Comodoro Rivadavia, para la cual el promedio de los valores de la relación es igual a 1,004 con una desviación standard de 0,032. Esta relación es menor si se toman los comprendidos entre 1997 y 2001, donde la desviación standard es de 0,027. Se observa que la relación es mayor que 1 en invierno, y menor a 1 en verano. La correlación de estos datos se observa en la Figura 6, el valor de la NASA estaría sobreestimado en un 2,3 % y el coeficiente de correlación es igual a 0,920.

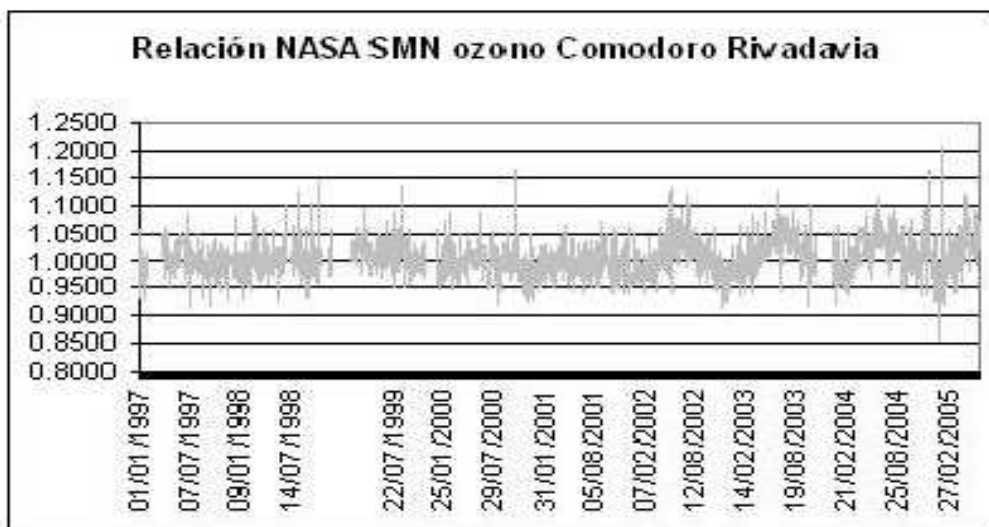


Figura 5: Relación entre los datos obtenidos medidos en tierra y los provistos por la NASA para la localidad de Comodoro Rivadavia en periodo comprendido entre los años 1997 y 2005. (Relación = valor SMN / valor NASA)

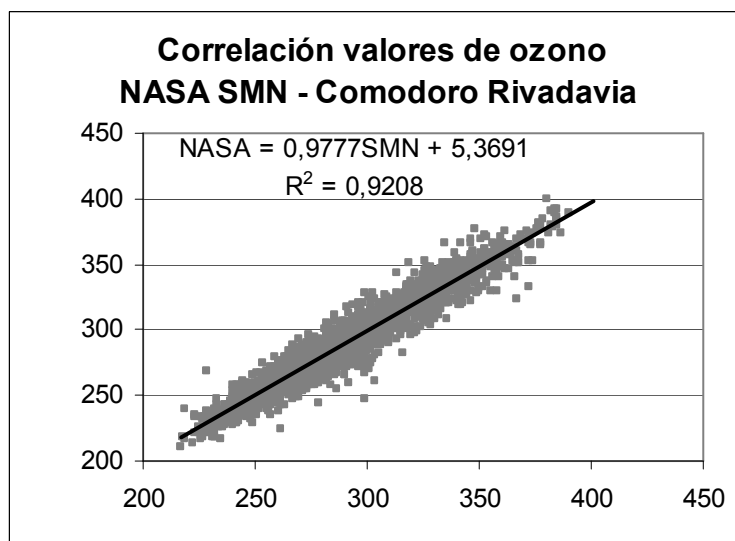


Figura 6: Correlación de los valores medidos en tierra respecto a los provistos por la NASA, para la localidad de Comodoro Rivadavia.

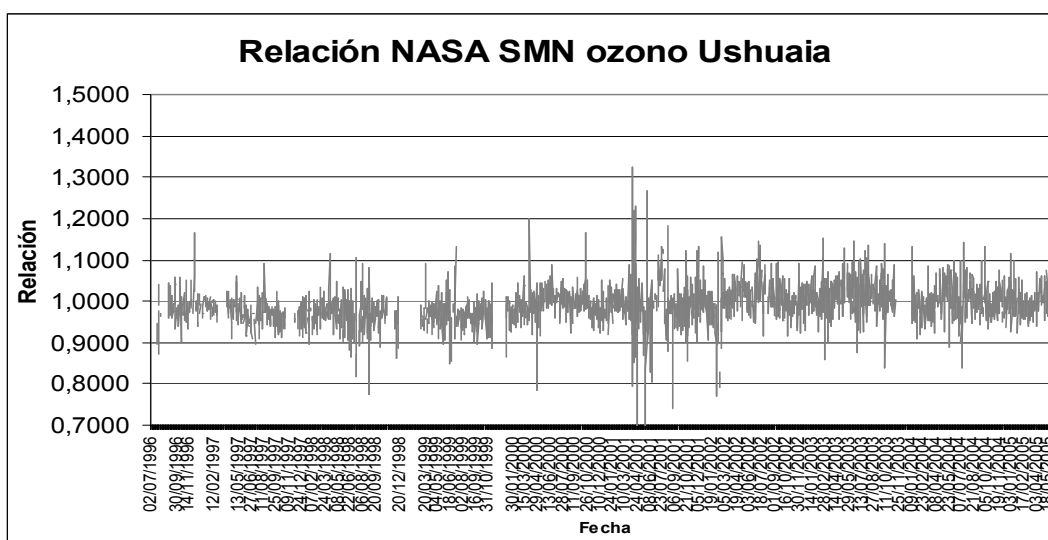


Figura 7: Relación entre los datos obtenidos medidos en tierra y los provistos por la NASA para la localidad de Ushuaia en período comprendido entre los años 1996 y 2005. (Relación = valor SMN / valor NASA)

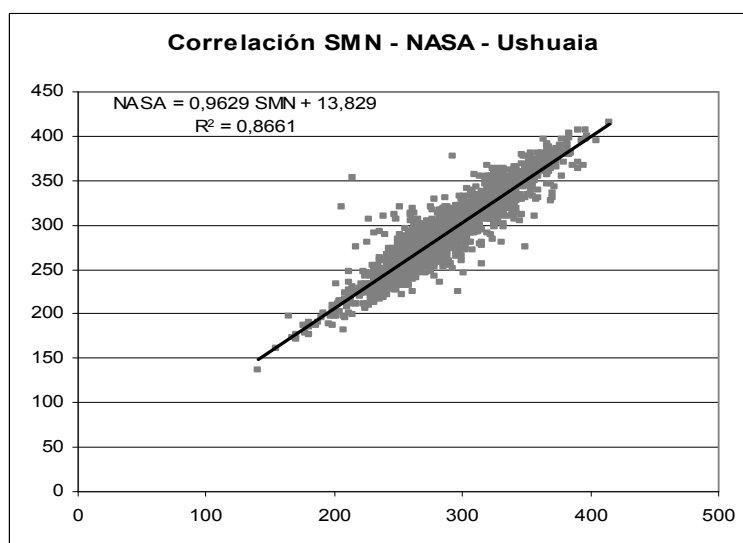


Figura 8: Correlación de los valores medidos en tierra respecto a los provistos por la NASA, para la localidad de Ushuaia

Se observa que el promedio de la relación de los valores de tierra respecto a los de la NASA es de 0,9907, con una desviación standard de 0,047, mientras que los valores tomados en tierra son inferiores a los de la NASA hasta el 2000 aproximadamente en un 5%, a partir de ese momento, resultan superiores en un 5%. Se observa además la variación estacional, pero no tan marcada como en Comodoro Rivadavia. Respecto de la correlación entre ambas series de mediciones, se observa que el valor de la NASA estaría sobreestimado en un 4%, y que el factor de correlación es bueno, con un valor de 0,8661.

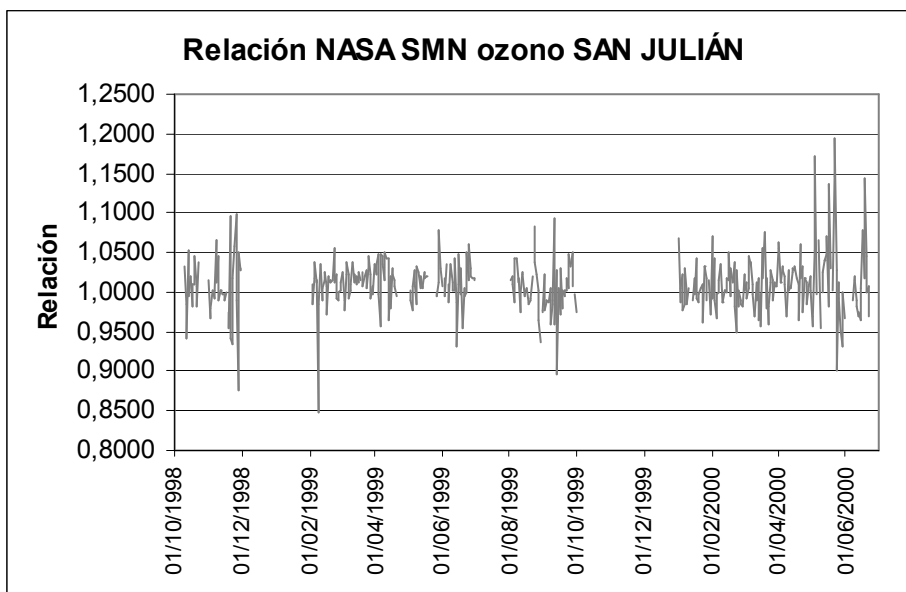


Figura 9: Relación entre los valores medidos en tierra por el Servicio Meteorológico Nacional y los provistos por la NASA para la localidad de San Julián (relación = valor SMN / valor NASA)

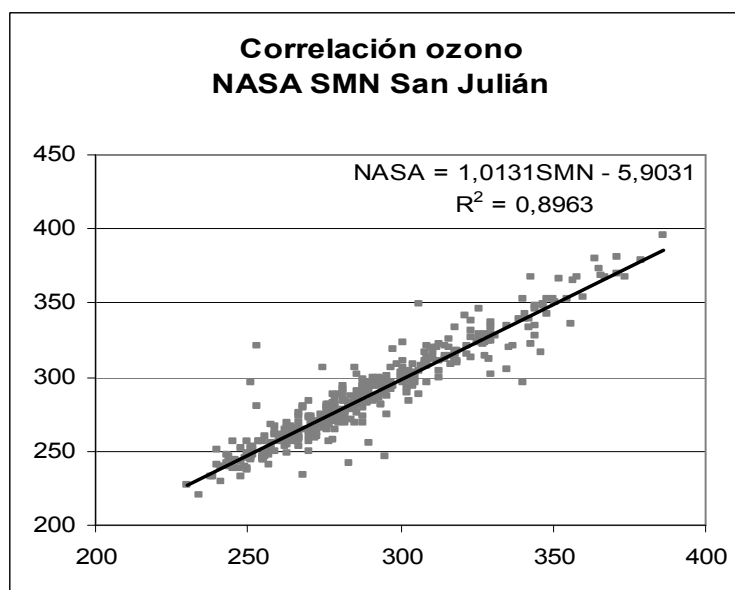


Figura 10: Correlación entre los valores medidos por el Servicio Meteorológico Nacional y los provistos por la NASA, para la localidad de San Julián. (valor SMN = valor NASA x 1,013 - 5,9031)

Los datos medidos en la localidad de San Julián por el Servicio Meteorológico Nacional corresponden al período comprendido entre octubre de 1998 y junio de 2000. La gráfica de la relación entre los valores medidos y los obtenidos de las imágenes satelitales se observan en la Figura 9, La correlación se observa en la Figura 10, el valor de NASA estaría subestimado en un 1% y muestra un coeficiente de 0,896.

## CONCLUSIONES

Si bien hasta el momento se han sistematizado los datos correspondientes a tres localidades, se observa que el fenómeno denominado “agujero de ozono” ha afectado la parte sur y centro de la provincia, mostrando para las localidades de Calafate y San Julián un patrón similar de frecuencias para los mismos años, si bien es el doble para la primera respecto de la segunda. Cuando se releven los datos correspondientes a la localidad de Río Gallegos se podrá conocer mejor cómo afecta al sur de la

provincia de Santa Cruz. En la zona norte se ha observado el fenómeno esporádicamente en los últimos años. En el año 2005 se observa una frecuencia muy superior a los registrados en años anteriores. Se registraron asimismo espesores inferiores a los 220 UD para épocas del año en las cuales no se presenta el “agujero de ozono”.

La comparación de los datos medidos en tierra por el Servicio Meteorológico Nacional respecto a los obtenidos por imágenes satelitales presenta un bajo margen de error, a pesar de que las mediciones en tierra se encuentra afectadas por las condiciones climáticas. (nubosidad)

Es necesario completar en este proyecto los datos de las demás localidades seleccionadas, de manera de conocer el grado de alcance de la disminución del ozono estratosférico en la provincia y su variación a través del tiempo y, de ser posible, la comparación entre los datos del satélite los de la ciudad de Punta Arenas (Chile).

## REFERENCIAS

NASA (2006) <http://toms.gsfc.nasa.gov/ozone>, [http://toms.gsfc.nasa.gov/ftpdata\\_v8.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/ftpdata_v8.html),  
[http://toms.gsfc.nasa.gov/eptoms/ep\\_ovplist\\_a.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/eptoms/ep_ovplist_a.html), [http://toms.gsfc.nasa.gov/m3toms/m3\\_ovplist\\_a.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/m3toms/m3_ovplist_a.html)  
[http://toms.gsfc.nasa.gov/n7toms/n7\\_ovplist\\_a.html](http://toms.gsfc.nasa.gov/n7toms/n7_ovplist_a.html)

Wolfram E, Milicic B., Pazmiño A., Bonfili O., Salvador J., Pallotta J., Nakane H., Godin-Beekmann S. , Quel E. (2005) Estudio de la factibilidad de la campaña solar para la medición de ozono estratosférico utilizando láser en Río Gallegos. Memorias CONGEMET IX, Buenos Aires

## AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha podido ser realizado gracias a los datos suministrados por el Servicio Meteorológico Nacional y por el Ozone Processing Team del Centro Espacial Goddard de la NASA. Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación N° 29/D015/1, radicado en la UA San Julián, financiado por la UNPA.

## ABSTRACT

Though Santa Cruz province lies some days every year under the “ozone hole”, there are few systematic ground measurements of ozone total column. There is a project at UNPA whose aim is to analyse satellite images data from TOMS published on NASA website, for different regions of this province., for the period 1978 to 2005. This paper presents the results obtained for three towns from different regions of Santa Cruz: Caleta Olivia, San Julián and Calatafe., and a validation with ground measurements for Comodoro Rivavia, Ushuaia and San Julián. Statistical results show that Calafate and San Julián, which are at the centre and south of the province, have higher year frequencies of low total ozone amount, Caleta Olivia, which is at the northern part of the province, was affected only for the last three years. The frequency of thickness between 220 and 300 UD increases for every town, especially at the south. There is high correlation factors with ground measurements.

**Key words:** ozone hole, stratospheric ozone, UV radiation, satellite images