

Área de Investigación e Instrumentación Atmosférica.  
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

## “Ahora parece que el agujero de la capa de ozono es menos interesante, pero no es un problema totalmente resuelto ”

Margarita Yela es investigadora del INTA y doctora en Física de la Atmósfera. Además, durante el Año Polar Internacional (IPY) 2007-2008 preside el Comité español y gestiona el subprograma Nacional de Investigación Polar, dentro del Plan Nacional I+D+i, del Ministerio de Educación y Ciencia.



Margarita Yela

En estos dos años, los polos son protagonistas en la ciencia internacional. Nunca han dejado de serlo pero estamos inmersos en el tercer Año Polar Internacional, lo que supone un esfuerzo coordinado a escala mundial para mejorar la investigación en la Antártida y en el Ártico, y sobre todo, una vía de difusión de lo que conocemos sobre estas zonas y de búsqueda de apoyo a todos los niveles para seguir leyendo la vital información que sólo allí se puede encontrar.

### Santiago Sánchez Martín

La Tierra funciona como un sistema global y tiene en los polos “laboratorios” singulares, cuya información es decisiva para conocer el pasado, presente y futuro de un planeta del que parece sabemos más cosas para destruirlo que para conservarlo. Margarita Yela, en su labor de investigación de casi dos décadas en el INTA, ha dedicado su trabajo a estudiar la atmósfera de las zonas polares, con la finalidad de que esto no sólo redunde en saber más de esas zonas extremas del planeta sino en saber más del planeta en sí.

En este sentido, el 2007 y el próximo 2008 son años privilegiados para los investigadores que trabajan en el Ártico o en la Antártida, aunque conllevan un esfuerzo extra de gestión y de divulgación.

Margarita Yela tiene que dividirse entre las responsabilidades de gestión de la presidencia del Comité español del IPY - España está presente por primera vez en un IPY, con 19 proyectos- y del Subprograma Nacional de I+D+i de Investigación Polar, y la también responsabilidad de que los proyectos internacionales en los que trabaja desde el INTA sigan produciendo conocimiento en temas tan decisivos como, por ejemplo, el agujero de la capa de ozono. Pero el Año Polar Internacional es una ventana de dos años para la que los científicos no escatiman sacrificios; es una inmejorable oportunidad de trascender científica, política y socialmente, porque los proyectos en los que trabajan exigen esa corresponsabilidad.

### El programa Oracle-O<sub>3</sub>

El proyecto Oracle-O<sub>3</sub> es el gran proyecto en el que INTA participa en el Año Polar Internacional, junto a instituciones de 24 países. Su objetivo es predecir cuál será el comportamiento del ozono a medio y largo plazo. Para eso hay que investigar en la Antártida y en el Ártico, y el INTA lo está haciendo en las estaciones australes de Ushuaia, Marambio (64°S, 56°W) y Belgrano (78°S, 34°W), estas dos últimas bases argentinas en la Antártida, y en la boreal de Keflavik (Islandia). El INTA lleva trabajando en esta estación islandesa desde el año 92, mientras que en las argentinas dos años menos. Ahora, durante 2007, continuará monitorizando la estratosfera polar para conocer la variabilidad estacional y de largo periodo del ozono, del NO<sub>2</sub> y de los compuestos halogenados. Con esta información podrán conocer mejor los procesos que derivan en la disminución del ozono en estas zonas, y por tanto poder deducir también su evolución futura.

El agujero de ozono que cada año afecta a la Tierra, además de tener consecuencias sobre el balance energético global, también lo tiene sobre lo que conocemos como Cambio Climático, de la misma

manera que el Cambio Climático tiene influencia sobre la capa de ozono. Y como es sabido, ese agujero se produce en la Antártida, una masa continental en la que el hombre es prácticamente un extraño y por tanto no contamina, pero que, sin embargo, es un lugar desgraciadamente privilegiado para observar las consecuencias de la contaminación que produce en otras zonas del planeta, sobre todo a través de la emisión de compuestos clorofluorocarbonados (CFC's) y bromuro de metilo en zonas industrializadas. Esto nos da la medida de esa trascendencia de los polos para el resto del planeta y valida el principio de sistema global y complejo que es la Tierra.

### **Hemisferio Sur**

La campaña Oracle-O<sub>3</sub> en el Hemisferio Sur ha comenzado el 4 de junio. A finales de agosto se observarán los primeros indicios de destrucción de ozono, que llegará a ser máxima en la primavera austral, entre septiembre y octubre. En esta campaña de cuatro meses, mediante la obtención de perfiles de ozono utilizando ozonosondas, se calculará la destrucción de ozono, se comparará con la destrucción que obtienen los modelos, y la comparación de datos y modelos permitirá mejorar estos últimos, optimizándose de esta manera las predicciones sobre la evolución del ozono en la atmósfera polar. Según la doctora Yela, “todavía se desconocen algunos detalles con respecto a la destrucción de ozono, sobre todo algunas cuestiones relacionadas con las reacciones químicas y procesos que se producen en las PSC (Nubes Estratosféricas Polares en español, que se forman en las zonas polares a temperaturas inferiores a  $-80^{\circ}\text{C}$ ).”

Mediante el lanzamiento de ozonosondas embarcadas en globos meteorológicos se puede medir la destrucción de ozono siguiendo las huellas del ozono contenido en una masa de aire a lo largo de su trayectoria. Estas trayectorias son calculadas en tiempo real durante la campaña y son usadas para lanzar de manera coordinada ozonosondas desde las estaciones participantes en el proyecto. En campañas anteriores las medidas realizadas han aportado importantes avances en el conocimiento teórico de los procesos que provocan la destrucción de ozono y han mejorado su representación en los modelos globales. “Esta técnica nos permite conocer más sobre el proceso de la destrucción de ozono durante el movimiento de la masa de aire, y nos aseguramos que la destrucción es química y no dinámica (meteorológica)”, nos dice Margarita Yela. Cuando no hay radiación solar en latitudes altas, precisamente en estos meses, la única técnica de observación son los sensores químicos, y lo hacen desde estaciones argentinas y no españolas, porque las primeras “están más al sur, bajo la influencia directa del agujero de ozono y, sobre todo, están operativas todo el año, gracias al personal del Instituto Antártico Argentino, con el que colabora el INTA desde 1994”.

### **Satélites**

Los trabajos del INTA en el Año Polar Internacional incluyen también la validación de datos obtenidos por instrumentos embarcados a bordo de satélites. El INTA parte con la misión de validar algunos de los instrumentos embarcados en los satélites ENVISAT y AURA, con los espectrómetros instalados en Ushuaia, Marambio y Belgrano y los perfiles verticales de ozono obtenidos en Belgrano y Keflavik. “Para que los datos obtenidos desde satélites sean fiables, necesitan ser validados, contrastar que los resultados se ajustan a las observaciones desde tierra, con instrumentos controlados periódicamente. Estas comprobaciones son muy importantes en zonas polares, porque en esas zonas hay menos instrumentos disponibles que en otras zonas del planeta”.

### **Misión en tierra**

Desde las estaciones argentinas, una de las tareas principales será la medida de las columnas verticales de ozono, NO<sub>2</sub> y de algunos compuestos halogenados. Estos compuestos participan de manera activa en el equilibrio del ozono. Para ello, además del trabajo que se viene realizando desde el año 94, ahora se van a instalar en la base de Belgrano dos nuevos espectrómetros DOAS (recogen



Margarita Yela

la radiación solar que atraviesa la atmósfera y evalúan la absorción de los compuestos atmosféricos presentes en la misma), con una tecnología más avanzada que la que tienen los ahora instalados, para monitorizar estos compuestos.

El NO<sub>2</sub> se produce como subproducto en las combustiones a altas temperaturas en vehículos y plantas eléctricas. Tanto el cloro como el bromo son halógenos y su origen es fundamentalmente antrópico, el primero es “menos” agresivo, pero hay una mayor densidad en la atmósfera. Los compuestos bromados son usados en los extintores y en plaguicidas. Compuestos como el bromuro de metilo son temibles para la salud de la atmósfera y el medio ambiente. Y todos están allí fundamentalmente por la acción del hombre, ya que de manera natural se producen en una parte mínima.

La segunda de las misiones específicas de la participación del INTA en el IPY, pasa por la detección y cuantificación de PSCs. Estas nubes aparecen en invierno con temperaturas muy bajas y son imprescindibles para la formación del agujero de ozono. Desde Marambio y Belgrano se medirá el “índice de color” de estas nubes en los crepúsculos, mediante los espectrómetros instalados. “Las PSC's se forman en las capas altas de la atmósfera y son visibles a veces durante los crepúsculos, cuando el sol está por debajo del horizonte. Hacen que el color del cielo en el cenit cambie de azul profundo a blanco. Medir estas nubes estratosféricas polares nos da la clave de por qué se produce la destrucción de ozono, sobre todo en la Antártida.” Por eso la instalación en la estación Belgrano de un LIDAR, que proporcionará perfiles en altura de la distribución de estas nubes. Mediante la emisión y recepción de un pulso láser, este LIDAR aporta datos sobre la altura a la que se encuentran las PSCs, su espesor y el tamaño y forma de las partículas que las componen.

### **En el Ártico**

En el mes de noviembre comenzará la campaña ártica que complementa el trabajo en el Año Polar. Con respecto al ozono, en el Ártico no se produce una destrucción con la misma intensidad que la que se produce en el Hemisferio Sur. La diferente distribución de mares y continentes en ambos hemisferios, hace que el vórtice polar ártico (cinturón de vientos invernales, que aísla el aire del interior de la masa de aire que llega de latitudes más bajas) sea más débil que el que se forma sobre la Antártida. Por eso, las temperaturas que se alcanzan en la estratosfera ártica son superiores a las que se alcanzan sobre la Antártida y la formación de PSC's es menos frecuente”, nos aclara Margarita Yela. En la Antártida se pierde en el ciclo anual aproximadamente el 70% del ozono, un 40% más que en el Ártico. Sin embargo, también es importante seguir la evolución en este aspecto, porque la investigación del ozono en ambos polos nos va a dar la información definitiva para explicar algunos fenómenos sobre los que se barajaron muchas hipótesis y que finalmente van arrojando algunas certezas. La investigadora del INTA nos advierte de que cada año la evolución del agujero de ozono es diferente. “Los procesos químicos que producen la destrucción de ozono varían con la temperatura. Cuanto más bajas sean las temperaturas en la estratosfera mayor será la destrucción de ozono. En el año 2002, el agujero de ozono fue el menor de los últimos años, eso hizo despertar falsas expectativas con respecto a su recuperación, se pensó que esta recuperación se estaba produciendo de una manera más rápida de lo inicialmente previsto. Pero no era cierto, simplemente se produjo un fenómeno dinámico inédito en el hemisferio sur: el vórtice polar se dividió en dos, por un calentamiento inusual de las capas altas de la atmósfera, por eso se llaman calentamientos estratosféricos súbitos. Esa fue la razón de que ese año la destrucción de ozono fuera menor, una consecuencia de procesos dinámicos. Este fenómeno, sin embargo, sí se produce de manera habitual en el Hemisferio Norte.” Esto nos habla de la singularidad del Ártico, pero también de la pertinencia de estudiarlo a fondo para entender, de nuevo, un sistema global.

### **Expectativas**

Contrariamente a lo que pasó en el año 2002, en el 2006 se ha producido el agujero de ozono más intenso y duradero, provocando un nuevo fenómeno que explicar. Y eso que precisamente estamos

viviendo una evolución favorable hacia la desaparición definitiva del agujero de ozono antártico, ya que se observa una muy lenta disminución de los CFC's en la estratosfera. Bueno, quizá no tan favorable, ya que según recientes estudios, entre otras razones, las consecuencias del cambio climático han retrasado esa previsión tan deseada en unos quince años, fijando la fecha aproximada de la reparación de la capa para el año 2065.

El agujero de ozono fue observado por primera vez por investigadores ingleses y japoneses en 1984, aunque previamente Gordon Dobson en 1960, observó como anualmente se producía un flujo de pérdida y recuperación de ozono en los polos, especialmente en el Sur. Sin embargo, la teoría y comprobación de que el agujero tenía causas antrópicas (humanas) fue de Mario Molina, Paul Crutzen y F. Sherwood Rowland, lo que les valió el Nobel de Química en 1995. Afortunadamente, ocho años antes, las comunidades científicas y políticas se habían puesto de acuerdo de una manera tan ejemplar como inusual, mediante el Protocolo de Montreal, en que se estableció que había que ser rápidos y tajantes en el control de las emisiones de CFC's a la atmósfera. Las primeras predicciones desde la puesta en marcha del Protocolo vaticinaban que el agujero de ozono desaparecería en 2050. Para Margarita Yela, "en Montreal se hizo un gran trabajo de colaboración entre políticos y científicos que propició la prohibición en la utilización de CFC's y otros compuestos que destruyen el ozono. Ahora estos compuestos se han sustituido por otros, pero no hay que olvidar que el tiempo de vida de algunos de los que ya estaban en la atmósfera se calcula en un siglo".

El interés por la capa de ozono ha sido relegado en los últimos años a un segundo plano por el fenómeno del Calentamiento Global. "A partir de mediados de los años 80, el interés fue creciente, ahora el ozono, se considera un problema resuelto, ante la urgencia que supone el Calentamiento Global. No es que yo le quiera quitar trascendencia creo que es probablemente la amenaza más grave a la que se enfrenta el planeta en este siglo porque es un problema global y una demostración del potencial que tiene el hombre para modificar la atmósfera. Hay que tratar de estar atentos y actuar racionalmente, incluso aunque no todos compartan la certeza al cien por cien de que este cambio tenga un origen antrópico y no natural. La sociedad se tendrá que adaptar a las imposiciones que suponen los cambios que se están produciendo", nos dice esta investigadora.

La destrucción del ozono no es una cuestión totalmente resuelta porque todavía tenemos que preocuparnos de una serie de compuestos industriales que siguen afectando a la capa de ozono, pero básicamente el problema se conoce. Aunque no al cien por cien. Tenemos que asegurarnos que estos compuestos ya no se produzcan o se eliminen, tal y como lo establece el Protocolo de Montreal.

Sabemos

que ese acuerdo está funcionando porque podemos medir en la atmósfera que los gases que deterioraron el ozono ya están disminuyendo, aunque de forma muy lenta, porque muchos de ellos permanecerán durante décadas, e incluso más de un siglo.

Sin embargo en los últimos años es evidente la conexión entre ambos fenómenos, que puede hacer que las previsiones en la desaparición del agujero de ozono no se cumplan. De hecho, en el último informe cuatrienal de la OMM sobre el estado del ozono han retrasado en 15 años el plazo respecto a lo inicialmente previsto. El cambio climático influirá sobre la evolución de la capa de ozono a través de cambios en el transporte atmosférico, en la composición química de la atmósfera y en la temperatura. A su vez, los cambios en la capa de ozono afectarán al clima a través de los procesos radiativos y cambios en los gradientes de temperatura que afectarán a la dinámica atmosférica.

### **Trabajar en los polos**

Hablar del cambio climático y del ozono nos lleva de nuevo a la investigación en los polos y la dureza del trabajo en condiciones extremas. "La vida allí es muy diferente, porque es complejo llegar, te cambian los ritmos. Hay bases a las que sólo se accede una vez al año y en rompehielos. En la Antártida, durante la noche polar, no se puede acceder a las estaciones que se encuentran más al sur,

ni por avión ni por mar, y hay que trabajar con ese factor de riesgo. A veces, mucho trabajo, mucho esfuerzo se puede ir al traste por situaciones como la que se ha dado tras el incendio del rompehielos argentino Almirante Irizar, único modo para acceder a la estación Belgrano, o porque al envío anual que hacemos en septiembre le falte algún elemento, como una botella de helio para los globos sonda. Con ese factor de fragilidad se puede llegar a hacer inviable el trabajo de todo el año siguiente". Para superar los riesgos de esos imprevistos hay que tener una planificación muy detallada y, claro, contar con investigadores motivados y de una pasta especial. "Para muchos investigadores, ir dos meses de campaña, son como vacaciones, están centrados en su investigación y no importa dedicarle las 24 horas, porque es lo que les gusta. Es muy gratificante. Desde aquí, aunque se pueden hacer también muchas cosas gracias a las actuales comunicaciones que nos permiten el contacto en tiempo real con los operadores en las estaciones antárticas, dedicamos sin embargo menos tiempo a la investigación y desgraciadamente a veces mucho a burocracias y asuntos variopintos."

Hoy, esta doctora en Física de la Atmósfera, está trabajando en estas investigaciones desde las instalaciones del INTA, en Madrid. Pero, al tiempo, está inmersa en la gestión del Plan Nacional I+D+i y la presidencia de la Comisión española del IPY, lo cual, por el entusiasmo con el que habla de ambas ocupaciones, que le lleva en pocos segundos del Ártico a la Antártida, pasando por la cubierta del buque oceanográfico español "Hespérides", no parece que incluya en ese capítulo de burocracias y cosas variopintas, que tanto restan a la eficacia científica. De hecho, con respecto a los resultados de ambos "extras" se considera "muy satisfecha, es una etapa diferente y transitoria en la que evidentemente no tengo más remedio que dedicar menos tiempo a la investigación, pero es muy interesante".

## FICHA TÉCNICA

**Centro:** Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA)

**Investigador:** Margarita Yela González

**Dirección:** Carretera de Ajálvir, Km. 4. Torrejón de Ardoz (Madrid)

**Teléfono:** 915201220

**Email:** yelam@inta.es

**Página web:** [www.inta.es](http://www.inta.es)

**Líneas de investigación:** Composición de la atmósfera, estratosfera en zonas polares, validación datos satélite, espectroscopía de absorción, desarrollo de instrumentación.