

DÍA INTERNACIONAL DE LA PRESERVACIÓN DE LA CAPA DE OZONO 2015

Recuperación de la Capa de Ozono: 30 años de trabajo conjunto

- Este año se conmemora el 30º aniversario de la aprobación del Convenio de Viena para la protección de la Capa de Ozono
- El tema elegido para este año pretende celebrar los esfuerzos colectivos de las Partes en el Convenio de Viena y en el Protocolo de Montreal en la protección de la capa de ozono durante estas tres últimas décadas
- Los datos de 2014 muestran valores de destrucción de ozono similares a los registrados en 2013
- Las primeras observaciones de este año muestran una extensión del agujero de ozono similar a la de los dos últimos años
- AEMET dispone de una amplia red de observación de la radiación ultravioleta y de la capa de ozono, elaborando diariamente predicciones de índice ultravioleta para todos los municipios españoles

El 16 de septiembre fue proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas, en Resolución 49/114, de diciembre de 1994, como el Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono conmemorando la firma, en esa misma fecha del año 1987, del Protocolo de Montreal. Para más información sobre la celebración de dicho acto se puede consultar la siguiente página web:

<http://ozone.unep.org/es/30%C2%BA-aniversario-del-convenio-de-viena-y-d%C3%ADa-internacional-del-ozono-2015>

Este año se conmemora el 30º aniversario de la firma del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono, el 22 de marzo de 1985, un hecho histórico en la consecución de dicho fin.

El Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono es considerado un convenio marco, puesto que ha servido como base para los sucesivos acuerdos y protocolos surgidos con posterioridad para la conservación de la capa de ozono del planeta. El Convenio de Viena entró en vigor el 22 de septiembre de 1988, y en 2009 se convirtió en el primer Convenio en alcanzar la ratificación universal. Sus objetivos eran alentar a las Partes firmantes a promover la cooperación a través de observaciones sistemáticas, investigaciones e intercambio de información sobre el impacto de las actividades humanas en la capa de ozono, y a adoptar medidas legislativas o administrativas en contra de aquellas actividades que pudieran producir efectos adversos sobre la capa de ozono.

El Convenio de Viena no requería por parte de los países firmantes tomar acciones concretas sobre la emisión de sustancias destructoras de la capa de ozono. En cambio, y a raíz de las disposiciones acordadas en dicho Convenio y bajo su propio marco, los países participantes acordaron la firma del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias destructoras de la capa de ozono, el 16 de septiembre de 1987, para reducir la producción y consumo de dichas sustancias, consiguiendo reducir de forma efectiva su abundancia en la atmósfera, y protegiendo así la capa de ozono que nos protege de un exceso de radiación ultravioleta.

El tema elegido para este año es **“Recuperación de la capa de ozono: Treinta años de trabajo conjunto”**, el cual viene acompañado del lema: **“Ozono: Todo queda entre Usted y los rayos UV”**. El tema elegido tiene como fin celebrar los esfuerzos colectivos de las Partes en el Convenio de Viena y el Protocolo de Montreal en la protección de capa de ozono durante estos últimos treinta años, mientras que el lema que le acompaña pretende poner de relieve la importancia de la capa de ozono en la protección que nos ofrece contra los efectos perjudiciales de un exceso de radiación ultravioleta.

Gracias a los esfuerzos concertados a nivel mundial a raíz de la firma de dichos acuerdos, ya se observan indicios que parecen apuntar hacia la recuperación de la capa de ozono, esperándose que a mediados del presente siglo esa recuperación permita alcanzar niveles de ozono similares a los de principio de los años 80 en nuestras latitudes. Fruto de ello, se estima que hacia el año 2030 se podrán haber evitado la aparición de hasta 2 millones de nuevos casos de cáncer de piel por año, e importantes efectos adversos sobre la agricultura, la fauna y la flora, y la pesca.

El ozono estratosférico nos protege de los efectos perjudiciales derivados de una sobreexposición a la radiación ultravioleta, principalmente la derivada de aquella radiación más energética y que produce los efectos más adversos sobre los tejidos cutáneos.

Además, su relevancia es si cabe aún mayor si tenemos en cuenta la pequeña proporción en la que se encuentra en la atmósfera. A modo de ejemplo, si fuéramos capaces de concentrar toda la capa de ozono sobre la superficie terrestre, ésta apenas ocuparía una capa de 3mm de espesor, mientras que el conjunto de toda la atmósfera que nos rodea alcanzaría una extensión aproximada de 8.000 metros.

Destrucción de la Capa de Ozono

Como cada año, al aproximarse la primavera austral, comienza la destrucción de ozono sobre la Antártida. Este proceso empieza a gestarse durante el invierno austral, cuando debido al largo período de oscuridad, se dan una serie de condiciones meteorológicas en el vórtice polar del Polo Sur que lo aíslan del resto de la circulación atmosférica, alcanzándose en dicha región temperaturas especialmente bajas (por debajo de -78°C). A estas temperaturas, aunque el aire

estratosférico es muy seco, se empiezan a formar nubes mezcla de agua y ácido nítrico denominadas nubes estratosféricas polares (PSC en inglés), en el seno de las cuales ocurren una serie de reacciones químicas que convierten compuestos halogenados inactivos provenientes de los CFCs y Halones, en especies muy activas, especialmente compuestos de cloro y bromo. Estos compuestos, una vez inciden los primeros rayos de luz coincidiendo con el final del invierno y el principio de la primavera austral, reaccionan rápidamente liberando átomos de cloro y bromo muy reactivos, que atacan a las moléculas de ozono a través de un ciclo catalítico al final del cual, se vuelve a recuperar dicho átomo halogenado que está nuevamente disponible para destruir otra molécula de ozono. Se estima que un simple átomo de cloro puede llegar a destruir miles de moléculas de ozono.

Esta es la razón por la que el agujero de ozono empieza a producirse durante el mes de agosto, con la llegada de los primeros rayos solares a la zona, y alcanza su máxima extensión entre mediados de septiembre y principios de octubre, momento en el que la radiación solar incidente comienza a calentar la masa de aire antártica, rompiendo su aislamiento (vórtice polar) y permitiendo la llegada de aire “limpio” de agentes destructores y rico en ozono proveniente de otras latitudes, lo que permite la regeneración del ozono.

Evolución de la Capa de Ozono durante 2014

El pasado año 2014, de acuerdo a las observaciones del instrumento OMI, el agujero de ozono, definido como aquella área donde la cantidad total de ozono en columna es inferior a 220UD (Unidades Dobson) ¹, tuvo una extensión media de 20,9 millones de km², alcanzando su máxima extensión el 16 de septiembre con un tamaño de 24,06 millones de km² [1] (como referencia, sirva de ejemplo que la extensión del continente antártico es aproximadamente de 14 millones de km²).

Estos valores son prácticamente idénticos a los alcanzados en 2013 (21,0 y 24,0 millones de km² respectivamente) y superiores a los de 2012 (17,8 y 21,1 millones de km² respectivamente).

A la hora de estudiar la severidad de la destrucción de ozono en la región antártica, además de estimar su extensión, también hay que valorar su intensidad. Para ello se usa el término *déficit de masa de ozono*, que representa la cantidad de ozono que habría que añadir para “tapar” el agujero, esto es, para conseguir que la columna total de ozono llegase a 220 UD, en aquellas zonas

¹ Las unidades Dobson son una medida de la densidad de un gas traza en la atmósfera. Se suele utilizar ampliamente para medir el ozono total en la columna atmosférica. Para ello se calcula el espesor que tendría el ozono presente en la columna atmosférica en condiciones normales de temperatura y presión (0°C y 1 atmósfera respectivamente). Así un espesor de 0.01 mm de ozono medido en condiciones normales de temperatura y presión sería equivalente a 1 UD. En nuestras latitudes los valores observados se encuentran en torno a valores algo superiores a las 300 UD. El nombre hace referencia a Gordon Dobson. Dobson diseñó en los años 20 el primer aparato de medida de ozono total en la atmósfera: el espectrofotómetro Dobson que sigue siendo utilizado hoy en día

donde el contenido total sea inferior a dicho valor. En ese sentido, entre el 7 de septiembre y el 13 de octubre, periodo de tiempo en el que se considera que se destruye mayor cantidad de ozono, el déficit de masa de ozono promedio en 2014 ha sido algo menor que en 2013, y superior a 2012 [2].

Por último, en cuanto al valor mínimo de ozono en promedio registrado en la región antártica durante el período de máxima destrucción de ozono fue de 129UD, según las observaciones del instrumento OMI, con un valor mínimo en columna de 114UD el 30 de septiembre [1], valores muy similares a los de 2013, y ligeramente inferiores a los de 2012.

A raíz de estas observaciones, y de acuerdo al último Boletín del Ozono Antártico publicado por la OMM correspondiente al año 2014 (nº4/2014) [2], el año 2014 ha tenido un comportamiento muy similar al del año 2013, y mayor que 2010 y 2012.

En los gráficos presentados a continuación, se muestra la evolución en la destrucción de ozono desde el año 1979 hasta 2014, tanto en los términos de su extensión media (millones de kilómetros cuadrados) (Figura 1) como en el déficit de masa de ozono (megatoneladas) (Figura 2), con el fin de poner en contexto estos resultados. Así, aún habiéndose registrado valores superiores a 2012 (segundo año con menor destrucción de ozono desde principio de los años noventa), los valores observados similares a 2013 le sitúan como el quinto año con menor destrucción desde principios de los años noventa.

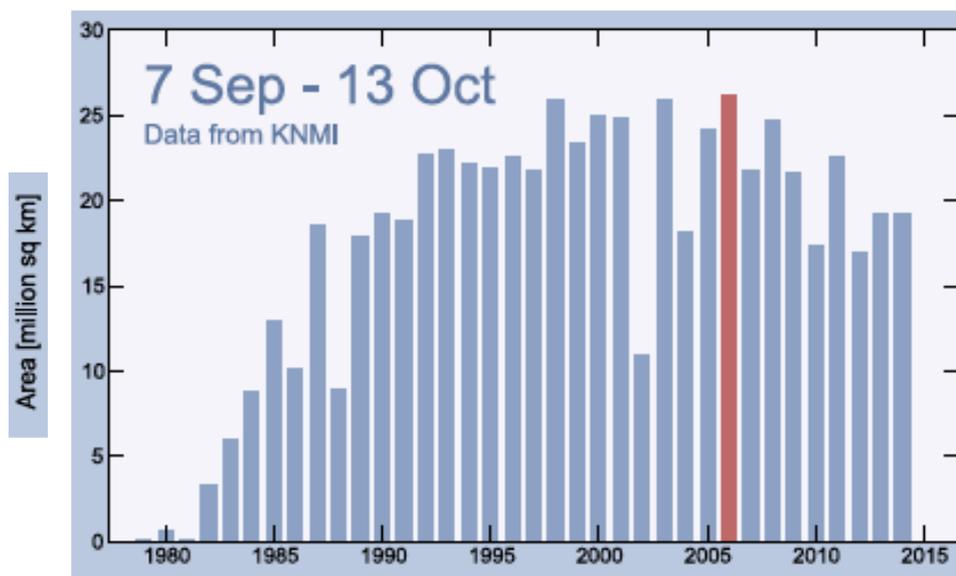


Fig. 1.- Extensión del agujero de ozono (Km²) durante los años 1979-2014, promediado entre los días 7 de septiembre y 13 de octubre de cada año. Los datos son calculados por el KNMI mediante asimilación de datos a partir de las observaciones de los satélites SCIAMACHY y GOME-2 (Fuente: Boletín sobre el Ozono Antártico de la OMM, nº4/2014, <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/documents/ant-bulletin-4-2014.pdf>)

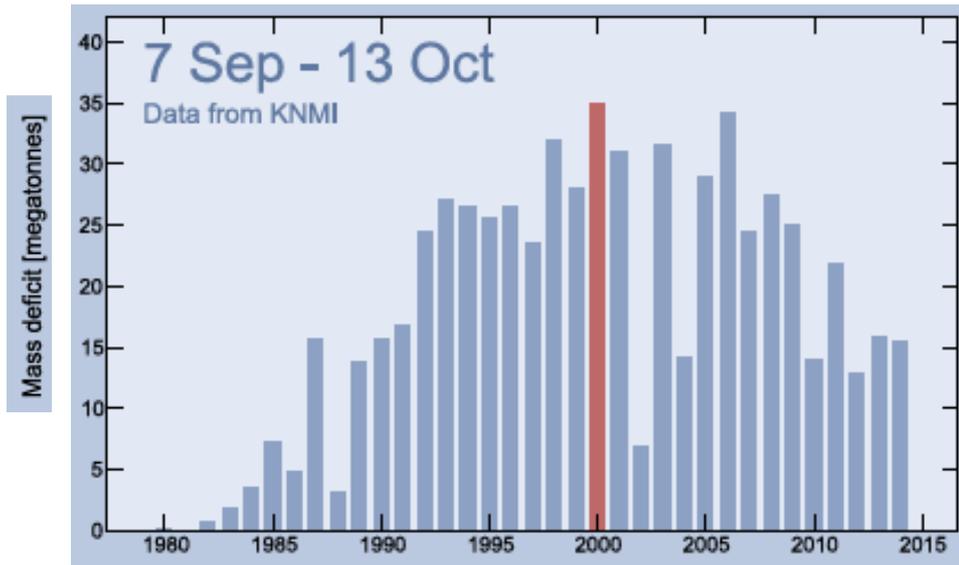


Fig. 2.- Déficit de masa de ozono (Megatoneladas) durante los años 1979-2014, promediado entre los días 7 de septiembre y 13 de octubre de cada año. Los datos han sido calculados en el KNMI mediante asimilación de datos a partir de las observaciones de los satélites SCIAMACHY y GOME-2 (Fuente: Boletín sobre el Ozono Antártico de la OMM, n°4/2014, <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/documents/ant-bulletin-4-2014.pdf>)

La formación del agujero de ozono en 2014 se empezó a definir a principios de agosto, y se caracterizó por un inicio menos intenso que en los años precedentes. Sin embargo, a lo largo de la segunda mitad de agosto y las dos primeras semanas de septiembre la destrucción de ozono aumentó su intensidad, alcanzando una extensión e intensidad similares al valor medio de la serie histórica (1979-2014), hecho que duró hasta principios del mes de diciembre cuando finalizaron los procesos de destrucción de ozono.

Como hecho relevante, la posición del vértice polar, región donde se produce de forma más efectiva la destrucción de ozono, durante la primavera austral de 2014 se desplazó durante largos periodos de tiempo hacia el sector atlántico del continente antártico y Sudamérica. Esto ha llevado a registros más bajos de ozono en las estaciones ubicadas en dichas áreas, llegándose a alcanzar durante dichos episodios valores significativamente bajos en estaciones situadas en el extremo sur del continente americano, como es el caso de la estación de Ushuaia en Argentina (Figura 3).

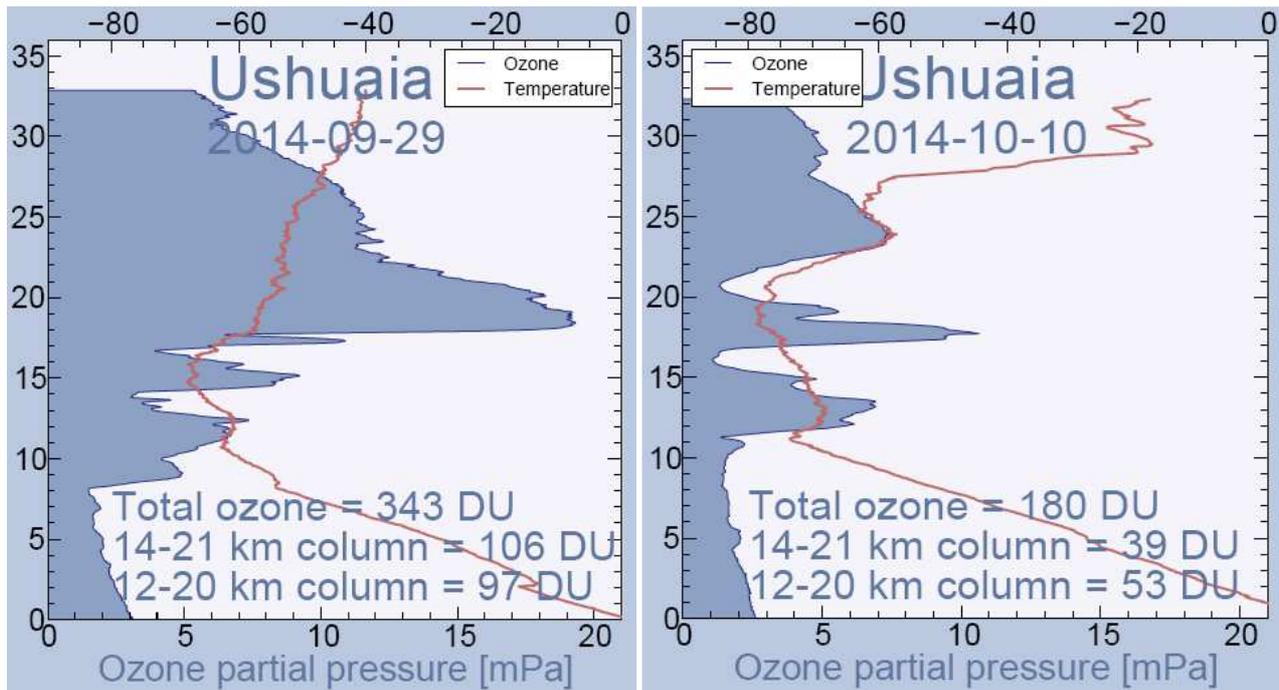


Fig. 3.- Se muestran en paralelo dos perfiles verticales de ozono en la estación de Ushuaia (Argentina) correspondientes a los días 29 de septiembre (izquierda) y 10 de octubre (derecha) de 2014 obtenidos mediante ozonosondas electroquímicas. El día 29 de septiembre, la estación de Ushuaia se encontraba fuera del vórtice polar, registrándose ese día valores de ozono total propios de latitudes medias (343 UD). El día 10 de octubre, el vórtice se desplazó hacia el continente americano, registrándose una notable disminución en el contenido de ozono (180 UD), sobre todo entre los 14 y 21km de altura.

El Programa de Ozonosondeos que se desarrolla en la estación de Vigilancia Atmosférica Global de Ushuaia realiza un sondeo semanal durante la época de ocurrencia del agujero de ozono. Este programa es un proyecto conjunto del Servicio Meteorológico Nacional (SMN; Argentina), el Gobierno de Tierra del Fuego (Argentina), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA; España) y la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET; España).

Por el contrario, las estaciones antárticas situadas en el sector del Océano Pacífico han sufrido el comportamiento inverso. Se han encontrado fuera de la acción directa del vórtice polar por largos periodos de tiempo, registrándose valores de ozono más elevado que en otras campañas.

Para una información detallada sobre el estado de la capa de ozono y su evolución, así como de sus efectos sobre la salud y el medio ambiente, se pueden consultar los últimos informes que al respecto han publicado la Organización Meteorológica Mundial (OMM): “*Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014*” [3] y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA): “*Environmental effects of Ozone Depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment*” [4]

Previsión de la Capa de Ozono para 2015

En cuanto a la situación para este año 2015, según el último Boletín del Ozono Antártico de la OMM publicado hasta la fecha (nº1/2015) [5], las primeras observaciones a través de satélite apuntan a que la formación del agujero de

ozono empezó a definirse el pasado 18 de agosto, lo que supone un comienzo relativamente tardío, si bien durante la última semana de agosto ha aumentado su extensión hasta aproximadamente unos 6 millones de km², similar al valor registrado el pasado año 2014, y que representa algo menos de la mitad del valor medio histórico para esa fecha.

A este respecto, cabe reseñar que durante estas primeras etapas de la formación del agujero de ozono, la evolución puede variar considerablemente de un año a otro por la posición inicial del vórtice polar, y la consecuente disponibilidad de menor o mayor luz solar, justo después del período de la noche polar antártica. Hasta el momento, parece ser que la situación del vórtice, bastante concéntrica con respecto al Polo Sur, es la causa de ese retraso en el inicio de la destrucción de ozono.

En cuanto a su evolución en los próximos meses, aún es prematuro el poder realizar un pronóstico, ya que la extensión final, así como su grado de intensidad, dependerá en gran medida de las condiciones meteorológicas existentes en la zona durante toda la próxima primavera austral. Así bien, de acuerdo al último boletín antártico publicado [5], las condiciones de temperatura y extensión de las nubes PSC hasta la fecha indican que el grado de destrucción de ozono será similar al observado estos dos últimos años, 2013 y 2014, y probablemente algo mayor que en 2010 y 2012.

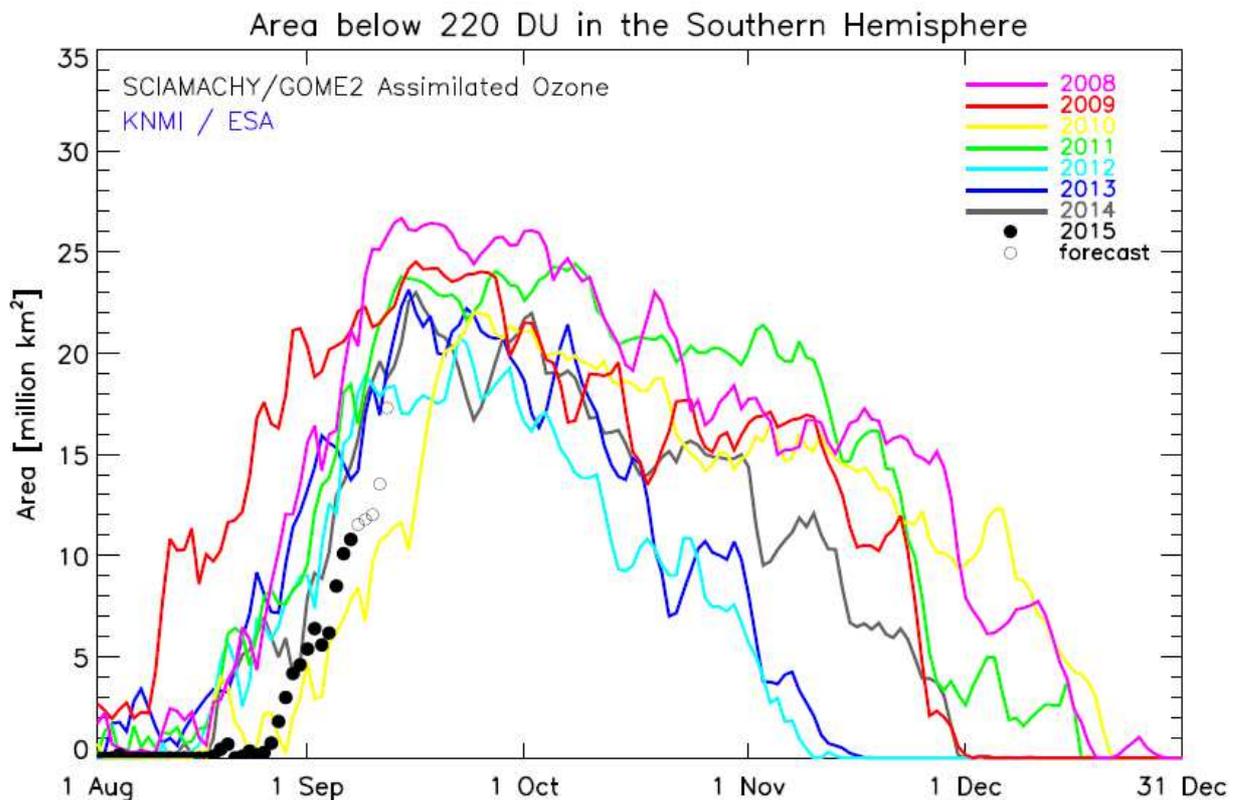


Fig. 4.- Gráfico comparativo de la evolución y extensión del agujero de ozono en el Hemisferio Sur desde el año 2008, a fecha 7 de septiembre. Los círculos en blanco representan la predicción de la extensión del agujero de ozono para los próximos días. Gráfico generado por el KNMI/TEMIS a partir de los datos recogidos por los instrumentos GOME-2 y SCIAMACHY (Fuente: <http://www.temis.nl/protocols/o3hole>)

La vigilancia de la Capa de Ozono en AEMET

La Agencia Estatal de Meteorología vigila la Capa de Ozono en tiempo real a través de la red de espectrofotómetros Brewer instalados en A Coruña, Madrid, Zaragoza, Murcia, Izaña (Tenerife), Santa Cruz de Tenerife y El Arenosillo (INTA, Huelva), y mediante la realización semanal de ozonosondeos en las estaciones de Madrid y Santa Cruz de Tenerife. Los datos obtenidos se envían diariamente a la Universidad de Tesalónica (Grecia), por encargo de la Organización Meteorológica Mundial, con el fin de confeccionar los mapas de espesor total de ozono en el Hemisferio Norte, y una vez evaluados, al Centro Mundial de Datos de Ozono y Radiación UV (WOUDC) en Canadá.

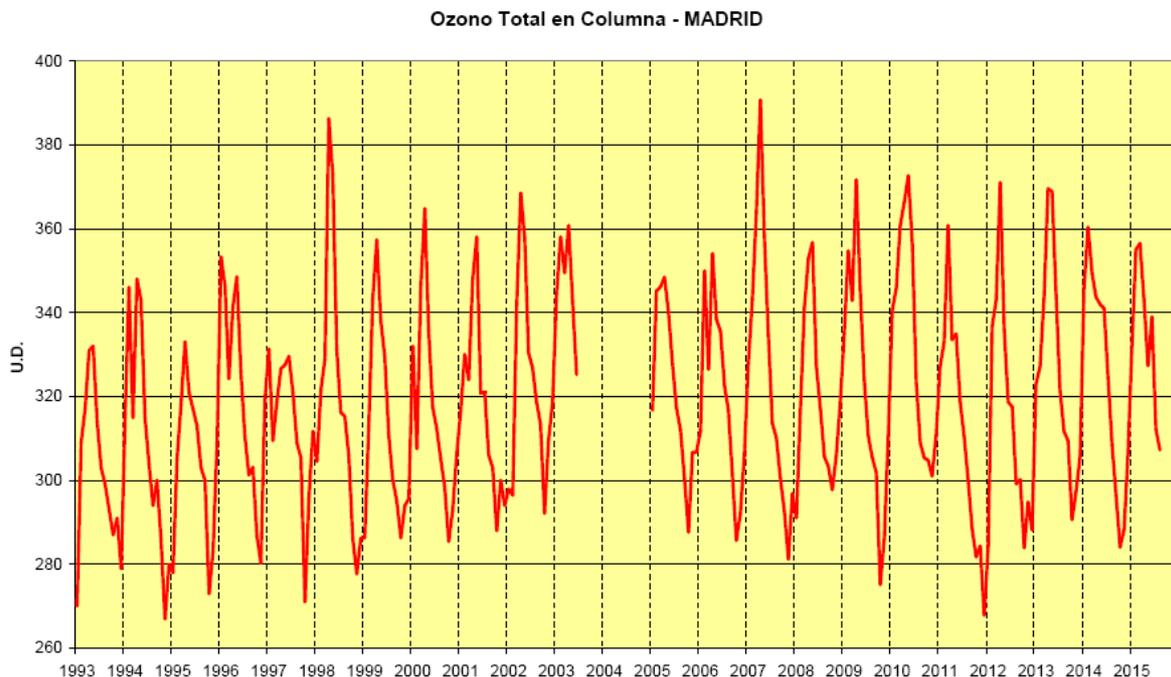


Fig. 5.- Serie histórica (1993-2015) de las medias mensuales de ozono total en columna registradas en Madrid (Ciudad Universitaria) obtenidas con los espectrofotómetros Brewer #070 y #186 instalados en el Centro Radiométrico Nacional, en la sede central de AEMET.

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología, situado en la isla de Tenerife, es el Centro Regional de Calibración de Ozono (RBCC-E) de la Red de Espectrofotómetros Brewer de Europa. El RBCC-E desde el año 2011 transfiere su propia calibración, obtenida mediante calibraciones absolutas, al resto de la red en campañas regulares cofinanciadas por la Agencia Espacial Europea (ESA). El RBCC-E participa además en actividades formativas y en el desarrollo de nuevas tecnologías asociadas a la observación del ozono.

El Observatorio de Izaña es además una de las estaciones de medida de referencia en el mundo reuniendo las medidas más precisas de ozono con los instrumentos: Brewer, Ozonosondas, DOAS y FTIR estos últimos en cooperación con el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y con el Institute for

Meteorology and Climate Research (IMK, Alemania). Estas medidas pertenecen al programa de Vigilancia Atmosférica Global (VAG) de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), así como a la red de excelencia “Network for the Detection of Atmospheric Composition Change” (NDACC).

AEMET co-lidera la acción europea EUBREWNET, que tiene como objetivo facilitar de forma homogénea y consistente las medias de ozono, radiación ultravioleta espectral y espesor óptico de aerosoles que proporcionan los espectrofotómetros Brewer instalados en Europa. En este proyecto en la que participan 18 países europeos a los que se han añadido Estados Unidos, Canadá y Australia. Los científicos que participan en EUBREWNET trabajan de forma conjunta para aumentar la caracterización y calibración de los instrumentos, así como el proceso y control de calidad de las observaciones. La base de datos del proyecto se aloja en AEMET donde se reciben las observaciones y son procesadas en tiempo real de forma centralizada. Esta base de datos da respuesta a nivel europeo a la demanda de organismos como la Organización Meteorológica Mundial, el Centro Mundial de Datos de Ozono y Ultravioleta (WOUDC, World Ozone and UV Data Centre), el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change), el Programa GMES (Global Monitoring for Environment and Security) de la Unión Europea para la vigilancia y observación de la tierra y la atmósfera.

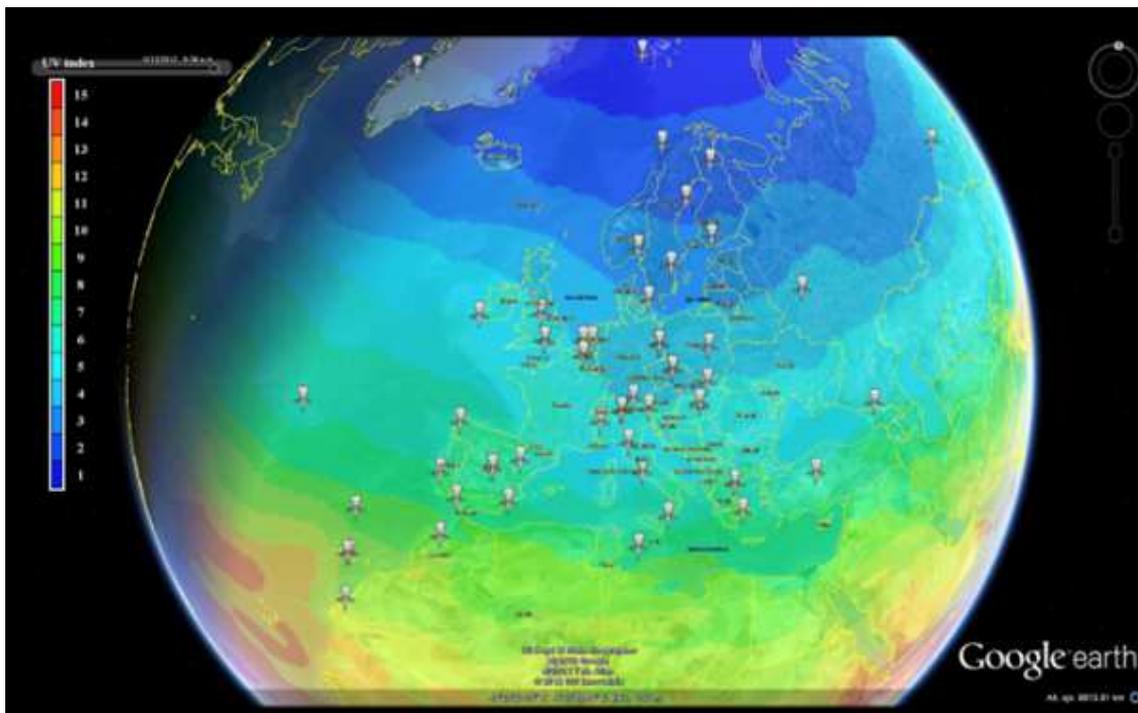


Fig. 6.- Mapa del índice ultravioleta (UVI), que muestra la localización de las estaciones que participan en la red EUBREWNET

El CIAI es también el centro de calibración de la red de espectrofotómetros PANDORA (Pandonia) financiada por la ESA este equipo recientemente desarrollado por la NASA además de proporcionar la medida de ozono proporciona medidas de NO₂, SO₂ y AOD usados para la validación del Satélite EarthCare.

Además, AEMET dispone de una red de medida de radiación ultravioleta -en relación directa con el espesor de la capa de ozono- que consta de más de veinticinco estaciones distribuidas a lo largo de todo el territorio nacional y cuyos datos se muestran en la web de AEMET junto con los valores de ozono total en columna en la siguiente dirección:

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/ultravioleta?datos=mapa>

Por otro lado, también se encuentra en operación un sistema de predicción del índice ultravioleta (UVI) con cielos despejados para todos los municipios españoles. Este índice se calcula diariamente a partir de los valores de ozono previstos por el modelo numérico global de la atmósfera del Centro Europeo de Predicción a Plazo Medio. Estos datos están disponibles en la página web de AEMET:

<http://www.aemet.es/es/eltiempo/prediccion/radiacionuv>

Finalmente, existe en AEMET un modelo de transporte químico² que proporciona información de composición química de la atmósfera para realizar predicciones operativas de calidad del aire sobre la Península. Adicionalmente, y de manera no operativa, también se dispone de un sistema de predicción que abarca otras regiones de interés, como es en este caso la región antártica.

² El modelo de transporte químico utilizado en AEMET es MOCAGE, desarrollado por Météo France y utilizado en AEMET en virtud de un convenio de colaboración entre ambas instituciones.

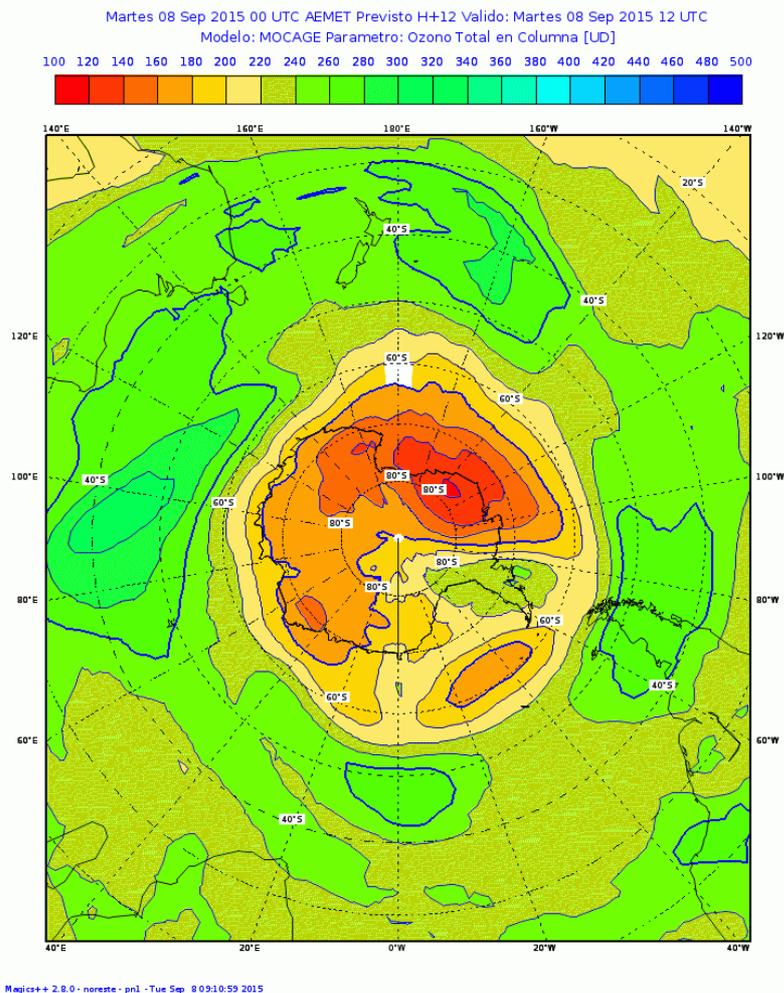


Fig. 7.- Predicción de Ozono Total en Columna (UD) para la región antártica generada en AEMET mediante el modelo de transporte químico MOCAGE (Météo-France) para el día 8 de septiembre de 2015 a las 12 UTC

Referencias

- [1] Ozone Hole Watch. Goddard Space Flight Center. National Aeronautics and Space Administration, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>
- [2] Boletín sobre el Ozono Antártico de la OMM, nº4/2014, <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/documents/ant-bulletin-4-2014.pdf>
- [3] Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014. Organización Meteorológica Mundial (OMM), http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ozone_2014/documents/Full_report_2014_Ozone_Assessment.pdf
- [4] Environmental effects of Ozone Depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), http://ozone.unep.org/en/Assessment_Panels/EEAP/eeap_report_2014.pdf
- [5] Boletín sobre el Ozono Antártico de la OMM, nº1/2015 http://www.researchgate.net/publication/281406423_WMO_Antarctic_Ozone_Bulletin_no._1_2015