

# PÉRDIDA RECORD DE OZONO ESTRATOSFÉRICO EN EL ARTICO DURANTE LA PRIMAVERA DE 2011. IMPLICACIONES SOBRE ESPAÑA

María López Bartolomé, José Montero Cadalso y José María Sanatanasio  
DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN

Alberto Cansado Aúria  
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO Y APLICACIONES

**El 5 de abril de 2011 la OMM emitió un comunicado de prensa informando de una pérdida record de ozono estratosférico en El Ártico durante la primavera de 2011 y aconsejando a la población mantenerse al tanto de las predicciones nacionales sobre la radiación UV. La radiación UV-B puede provocar cáncer de piel, cataratas y trastornos del sistema inmunitario en los seres humanos. Algunos cultivos y formas de vida marina también pueden sufrir efectos adversos.**

**Esta pérdida sin precedentes ha dado lugar a registros muy bajos de ozono total en columna y muy altos de índice de radiación ultravioleta en todas las estaciones de medida de la Península y Baleares.**

**AEMet a través del programa GAW (Global Atmospheric Watch) de la OMM contribuye a la vigilancia mundial de la capa de ozono enviando al WOUDC (World Ozone and Ultraviolet Data Center) los datos de ozono total en columna obtenidos a partir de la Red de Espectrofotómetros Brewer, así como los datos del perfil de ozono procedentes de los sondeos semanales. Mantiene además en el CIAI (Centro de Investigaciones Atmosféricas de Izaña) el Centro de Calibración Brewer para la Región VI de la OMM.**

**Por otra parte para la vigilancia del UVI (índice de radiación ultravioleta) AEMet opera una red de medida de UVB (radiación ultravioleta-B) en banda ancha de 25 estaciones y realiza predicciones de UVI hasta cinco días.**

**Toda esta información esta disponible al publico en la Web externa de la Agencia y se actualiza diariamente.**

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

## EL OZONO EN LA ATMOSFERA

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, la molécula de ozono esta formada por tres átomos de oxígeno, que aunque representa una fracción muy pequeña de la atmósfera es crucial para la vida sobre la tierra.

Su distribución vertical en la atmósfera esta muy lejos de ser uniforme y dependiendo de donde reside puede proteger o perjudicar la vida sobre la tierra. La mayoría del ozono se encuentra en la estratosfera (una capa de la atmósfera que se extiende desde los 10 hasta los 40 Km de altitud) donde actúa como un escudo protector filtrando la dañina radiación UV procedente del sol. Sin embargo cerca de la tierra en la troposfera (la capa que va hasta 10 Km) el ozono es contaminante, un fuerte oxidante corrosivo para los materiales y toxico para animales y plantas.

El ozono es el constituyente traza mas importante de la estratosfera en la que se concentra dentro de un estrato de pequeño espesor cuya altura media es de unos 25 Km y que se conoce como «la capa de ozono» y aunque esta presente en concentraciones de no mas de unas pocas partes por millón es un absorbente tan eficiente de la radiación ultravioleta que supone la fuente de calor mas grande en la atmósfera a altitudes por encima de los 10-15 Km y de hecho la absorción de UV por ozono causa la inversión de temperatura que es responsable de la existencia de la estratosfera (Fig.1).

En la región UVB (280-320 nm) concretamente el ozono absorbe con tal eficiencia que, por ejemplo, la cantidad de UVB que alcanza la superficie de la tierra esta reducida en un factor de 10.000 respecto la que llega al tope de la atmósfera para la longitud de onda de 290 nm.

Para medir el contenido total de ozono se utiliza la Unidad Dobson (DU) la cual se define como el espesor, en unidades de  $10^{-5}$  m, que ocuparía una columna de ozono atmosférica si se comprimiera a una presión de 1013 hPa y a una temperatura de 0 °C.

La cantidad de ozono media presente en una columna de la atmósfera de la Tierra, aunque es muy variable, suele tener un valor de 300 UD, lo que equivaldría a un espesor de 3 mm.

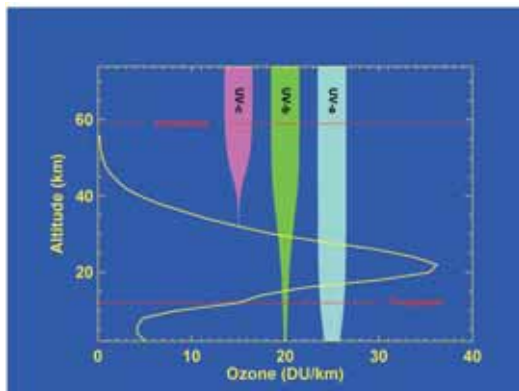


Fig. 1.- Perfil vertical tipo de ozono en latitudes medias del hemisferio norte.

*La estratosfera se encuentra entre la tropopausa y la estratopausa (marcadas en rojo). El ancho de las barras indica la cantidad de energía, como una función de la altitud. La radiación UVC (200-280 nm) decrece drásticamente a medida que aumenta el ozono, la UVB (280-320 nm) es también fuertemente absorbida aunque una pequeña fracción alcanza la superficie y la UVA (320-400 nm) solo es absorbida débilmente aunque esta es la menos energética y menos dañina.*

*Fte: The Stratospheric Ozone Electronic Textbook (funded, developed, written and edited by members of NASA's Goddard Space Flight Center Atmospheric Chemistry and Dynamics Branch). [http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz\\_class.htm](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz_class.htm)*

Las medidas regulares del contenido de ozono en la atmósfera se iniciaron a principios de la década de 1920 cuando G. M. B Dobson construyó (en 1927) su primera versión de lo que hoy es conocido como el espectrofotómetro Dobson, este instrumento realizaba estimaciones del contenido de ozono a partir de medidas precisas de la intensidad de radiación en pares de longitudes de onda del espectro UV.

En la década de los 50 únicamente 20 estaciones operaban de forma regular en el mundo y muchas de ellas estaban localizadas en el hemisferio norte. En ese momento la razón para el estudio del ozono era la esperanza de que la investigación sobre el movimiento estratosférico, del cual el ozono era un trazador útil, condujera a la mejora de los modelos de predicción del tiempo y fue esa la razón por la que hoy existe una base de medidas de ozono anterior al hecho de que la destrucción del ozono empezara a ser un tema de gran interés.

Las observaciones de ozono sistemáticas, usando métodos de observación comunes y procedimientos de calibración, fueron establecidas por la Comisión de Ozono Internacional en colaboración con la Organización Meteorológica Mundial y coincidieron con la celebración del Año Geofísico Internacional de 1957-58. Y estos procedimientos estándar formaron la base del Sistema de Observación Global del Ozono el cual actualmente dispone de una gran cantidad de estaciones operando de forma rutinaria en todo el planeta.

Dos tipos de instrumentos se usan principalmente para las observaciones rutinarias de ozono total, los espectrofotómetros Brewer y Dobson, los cuales pueden medir ozono total en columna con gran precisión y es en el WOUDC (World Ozone and Ultraviolet Data Center), ubicado en el Servicio Meteorológico Canadiense en Toronto, donde se recogen y almacenan las medidas internacionales procedentes de los mismos.

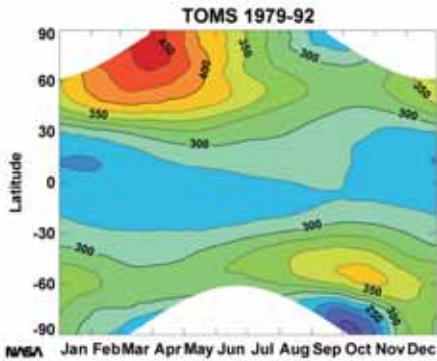
Además, un número relativamente pequeño de estaciones realizan medidas regulares de perfiles verticales de ozono usando globos sonda. Las sondas de ozono miden la concentración de ozono «in situ» vía reacción con una solución acuosa de yoduro potásico; la técnica es muy sensible y puede proporcionar una resolución vertical muy fina, capaz además de una excelente precisión pero la sensibilidad a la contaminación así como errores procedentes del manejo impropio o defectos mecánicos ocasionales lo hacen menos aconsejable que los métodos ópticos y por esta razón los datos del sondeo son comparados siempre que es posible con un instrumento Brewer o Dobson.

Por otra parte, desde la década de 1970 los satélites han proporcionado una imagen global del ozono total y en menor extensión de su distribución vertical. El primer instrumento que proporcionó datos de ozono fué el Backscatter Ultraviolet (BUV) lanzado a bordo del satélite Nimbus 4 en abril de 1970. En 1978 el instrumento Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) sobre el Nimbus 7 y más recientemente el Global Ozone Monitoring Experiment (GOME) sobre la plataforma europea ERS-2 han seguido realizando medidas de perfiles y de ozono total.

Los datos satelitales a menudo son de peor calidad que los datos obtenidos desde tierra. Sin embargo intercomparaciones entre instrumentos de tierra y otros a bordo de satélites permiten caracterizar los instrumentos satelitales y mejorar los algoritmos de estimación de cantidad de ozono.

En relación con la **distribución de ozono global en la atmósfera terrestre**, la principal característica es un fuerte gradiente latitudinal de ozono total, con valores más bajos sobre el ecuador y los trópicos y valores más altos sobre latitudes medias y altas. (Fig. 2).

Fig. 2.- Valores medios de ozono total en columna



Datos obtenidos por el Nimbus-7 (TOMS: Total Ozone Mapping Spectrometer). Cantidad de ozono en UD.

Fte: The Stratospheric Ozone Electronic Textbook (funded, developed, written and edited by members of NASA's Goddard Space Flight Center Atmospheric Chemistry and Dynamics Branch). [http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz\\_class.htm](http://www.ccpo.odu.edu/SEES/ozone/oz_class.htm)

En latitudes altas este gradiente latitudinal tiene un ciclo anual bien pronunciado, alcanzando un máximo en primavera y un mínimo en otoño sobre los 60° S y 60° N. Sin embargo en los trópicos se dan pequeñas variaciones estacionales con un máximo en verano y no hay variaciones estacionales en la región ecuatorial.

Esta distribución latitudinal es posible debido al tiempo de vida relativamente largo del ozono en la baja estratosfera y a la circulación de Brewer-Dobson que transporta ozono estratosférico desde el trópico hacia los polos y hacia abajo en latitudes más altas.

La distribución del ozono sobre la Península y Baleares es típica de latitudes medias para el hemisferio norte, el ciclo anual tiene su máximo en abril y su mínimo en octubre. No es tan acusado sobre las Canarias.

En escalas diarias la cantidad de ozono es muy variable, las fluctuaciones en el ozono total especialmente en latitudes medias y altas pueden ser grandes alcanzando en algunos casos 100 UD o más y claramente debidas a la dinámica atmosférica.

Y a escalas temporales más grandes otros fenómenos se superponen al ciclo anual:

- La oscilación cuasibienal de ozono QBO causada por cambios en la velocidad de transporte meridional inducida por la QBO de los vientos estratosféricos
- El ciclo solar de 11 años.
- El ENSO (El Niño-Oscilación del Sur)

## DESTRUCCIÓN DEL OZONO ESTRATOSFERICO

El ozono estratosférico se origina como resultado de la acción de la luz solar sobre moléculas de oxígeno a altitudes por encima de 40 Km principalmente en los trópicos. La formación tiene lugar en dos fases: rotura de la molécula de oxígeno y combinación del oxígeno atómico con oxígeno molecular. Y la destrucción también tiene lugar en dos fases: rotura de la molécula de ozono y combinación del ozono con oxígeno atómico

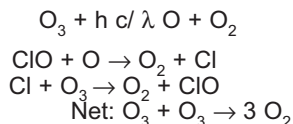
En resumen, **el ciclo de vida de la molécula de ozono en la estratosfera** sería el siguiente:

- Primera etapa: Rotura de moléculas de oxígeno  

$$O_2 + hc/\lambda \rightarrow O + O \ (\lambda < 240 \text{ nm})$$
  - lenta
  - se produce en la parte superior de la estratosfera, se absorbe UVC
- Segunda etapa: Absorción de la radiación UV  

$$O_3 + hc/\lambda \rightarrow O_2 + O$$

$$O + O_2 + M \rightarrow O_3 + M$$
  - la radiación ultravioleta se convierte en calor, no se destruye ozono
- Tercera etapa: Destrucción de las moléculas de ozono



Al principio se creyó que la reacción del oxígeno atómico con el ozono era el único mecanismo de destrucción de ozono en la estratosfera. Sin embargo existen varios gases antropogénicos y naturales de vida larga tales como  $N_2O$ , CFC, halones, metil bromuro y cloruro que se disocian en la estratosfera en formas activas y son catalizadores eficientes en la destrucción del ozono.

Las concentraciones de estas moléculas reactivas que incluyen especies como NO y  $NO_2$ , Cl y ClO, OH y  $HO_2$  y Br y BrO están limitadas por la formación de especies reservorio tales como  $HNO_3$ ,  $ClONO_2$  y HCl y es la concentración relativa de moléculas reactivas y especies reservorio la que determina la efectividad de la destrucción del ozono.

El aire en la estratosfera en las regiones polares está relativamente aislado durante largos periodos en los meses de invierno. Este aislamiento es debido a los fuertes vientos que circundan los polos formando un vórtice polar el cual impide el intercambio de aire polar con latitudes mas bajas. Estas condiciones permiten que se alcancen temperaturas suficientemente bajas para la formación de las nubes estratosféricas polares o PSC (Polar Stratospheric Cloud).

Durante la noche polar, sobre las nubes estratosféricas polares, estas formas inactivas o reservorio se liberan iniciándose la pérdida de ozono cuando llega la luz.

A mediados de la década de 1980 se empezaron a detectar cambios en la capa de ozono pero fue el descubrimiento del agujero en La Antártida en 1985 la primera evidencia inequívoca de la destrucción del ozono estratosférico. En ese momento los niveles de ozono habían caído a 200 UD desde los niveles de 300-350 UD existentes en la década de 1960 y 1970 y desde entonces el agujero comenzó a ser más profundo y más extenso cada año.

Sin embargo la situación no es la misma en El Ártico, las PSC se forman cuando las temperaturas en la estratosfera caen por debajo de  $-78\text{ }^{\circ}\text{C}$  y esto que ocurre durante 5 o 6 meses sobre la Antártida solo se da normalmente un promedio de 1 o 2 meses sobre el Ártico (Fig.4).

Además las temperaturas mínimas alcanzadas en el Ártico no son tan bajas como en la Antártida, de tal manera que algunos años las temperaturas para la formación de las PSC no se alcanzan en el Ártico y no se da destrucción significativa de ozono.

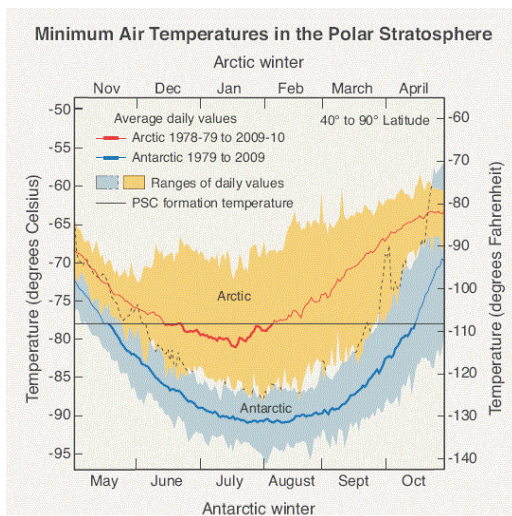


Fig. 4.- Temperaturas mínimas en la estratosfera polar en El Ártico y en La Antártida

**Fte: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. World Meteorological Organization. United Nations Environment Programme, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration and European Commission**

En resumen, las pérdidas en El Ártico son más pequeñas que en La Antártida y un agujero de ozono grande y recurrente como se da cada invierno/primavera en la Antártida no ha ocurrido en el Ártico (Fig.5). El agujero de ozono se define como el área donde la cantidad total de ozono en columna es menor de 220 Unidades Dobson.

Por otra parte, los valores medios sobre el Ártico son más grandes al principio de cada invierno que sobre La Antártida debido a que en los meses precedentes más ozono se transporta hacia los polos en el HN que en el HS.

Las variaciones en las condiciones meteorológicas influyen de un año a otro en la pérdida de ozono, sobre todo en el Ártico. Mientras que prácticamente toda la destrucción de ozono en la Antártida es debida a destrucción química por gases halógenos reactivos, en el Ártico el 50 % es atribuible a variaciones naturales en la cantidad de ozono transportado a las regiones polares antes o durante el invierno.

Una destrucción significativa de ozono se da algunos años en el Ártico pero todos los años en la Antártida.

Como en la Antártida la destrucción del ozono en el Ártico esta confinada a finales de invierno y principios de primavera. En primavera, el aumento de las temperaturas en la estratosfera baja polar llevan a la finalización de la formación de PSC, el aislamiento invernal del aire finaliza y aumenta el intercambio de aire con latitudes más bajas.

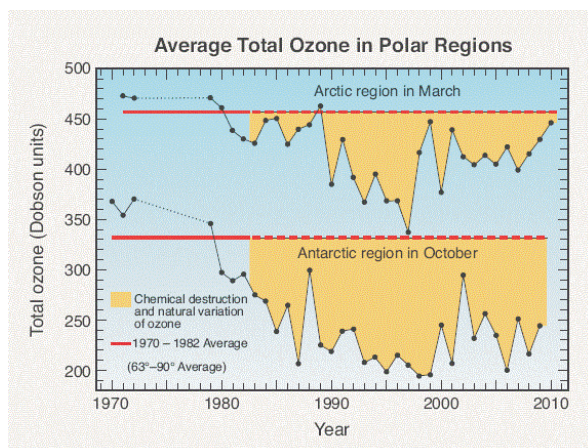


Fig.5.- Media de ozono total en columna en las regiones polares

**Fte: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. World Meteorological Organization. United Nations Environment Programme, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration and European Commission**

En la distribución general, la pérdida de ozono es muy pequeña cerca del ecuador y aumenta con la latitud hacia los polos (Fig.6).

En latitudes medias ya que la temperatura estratosférica es demasiado alta para permitir la formación de PSC este no es el método de destrucción polar y los factores que contribuyen son:

- las reacciones heterogéneas sobre aerosoles de sulfatos inyectados en la atmosfera por erupciones volcánicas
- la destrucción en la estratosfera del invierno ártico con subsecuente transporte a latitudes más bajas

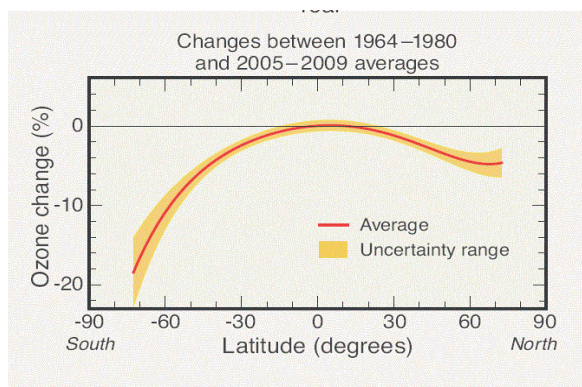


Fig.6.- Cambios en el ozono global

**Fte: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. World Meteorological Organization. United Nations Environment Programme, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration and European Commission**

## EL PROTOCOLO DE MONTREAL- RECUPERACION DE LA CAPA DE OZONO

Las sustancias que actúan como catalizadores en la pérdida de ozono, antropogénicas y naturales, son emitidas desde la superficie de la tierra a la troposfera donde permanecen, por ser poco reactivas y no disolverse en la lluvia o nieve, y desde donde por movimientos atmosféricos entran en la estratosfera. El tiempo de vida medio de estas sustancias en la atmósfera es de 10 a 100 años.

El Protocolo de Montreal, que se firmó en 1997, ha conseguido una reducción en la emisión de más del 98% de las sustancias que destruyen la capa de ozono incluidas dentro del mismo y ha permitido detener el aumento del agujero antártico.

En 2010 el Protocolo de Montreal llegó a ser el acuerdo internacional mas avalado con la ratificación por 196 estados.

La emisión de gases antropogénicos dentro de la atmósfera ha supuesto una destrucción significativa de la capa de ozono y el desarrollo del agujero antártico pero su disminución como consecuencia del Protocolo de Montreal y sus adendas ha permitido subvertir la tendencia de destrucción del ozono.

Concretamente la recuperación del ozono en la Antártida se espera para después de mediados de este siglo aunque más tarde que en cualquier otra región. En el Ártico, donde la pérdida es considerablemente mas pequeña y los cambios en el ozono no están tan estrechamente unidos a las sustancias que destruyen la capa de ozono, se espera que estos niveles se alcancen en 2020 a 2035.

## PRIMAVERA ARTICA DE 2011

Los valores de ozono inusualmente bajos observados en El Ártico en la primavera de 2011 (Fig. 7) han sido causados por la fortaleza del vórtice polar, el cual aísla la masa atmosférica sobre el polo norte e impide su mezcla con aire de latitudes medias y hace que se alcancen temperaturas muy bajas creando unas condiciones similares a las a las que ocurren cada año sobre la Antártica.

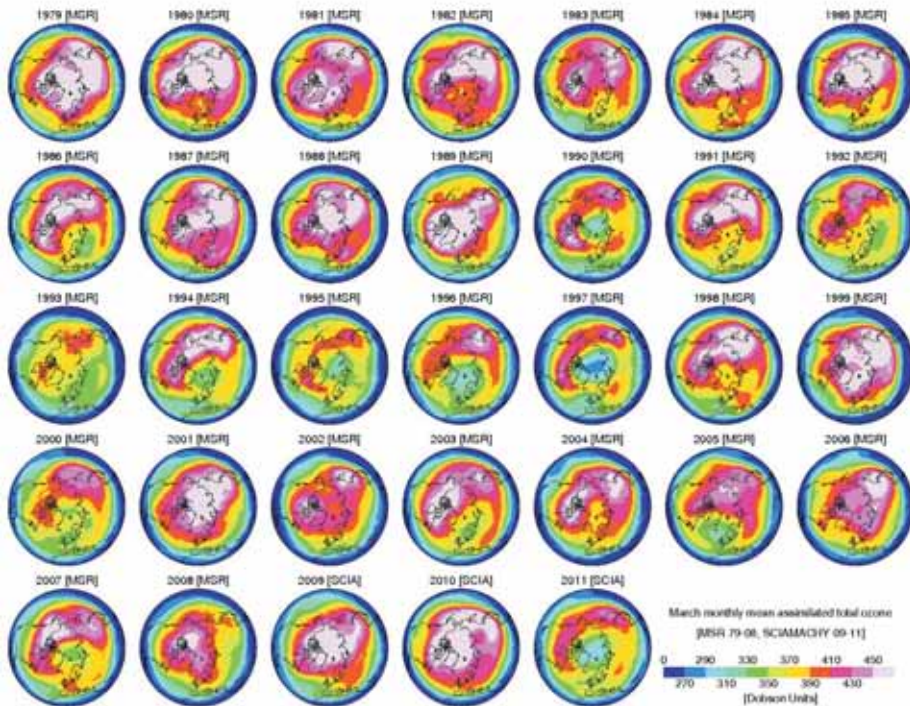


Fig. 7.- Cantidad media mensual para marzo de 2011 comparada con el mismo mes en el periodo de 1979 a 2010 (datos del sensor SCIAMACHY a bordo del EnviSat).

Fte: Proyecto MACC (Monitoring Atmospheric Composition and Climate)  
[http://www.gmes-atmosphere.eu/news/ozone\\_mar2011](http://www.gmes-atmosphere.eu/news/ozone_mar2011)

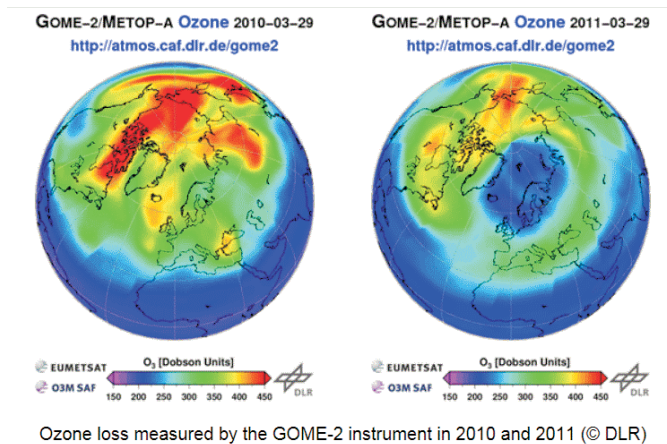


Fig.8.- Diferencia entre la primavera de 2010 y la de 2011

Estas temperaturas tan bajas permitieron la formación de nubes estratosféricas polares (PSC) en las cuales se forman las especies activas a partir de las especies reservorio que rompen el ozono con la llegada de la luz solar. Además de las temperaturas frías, el transporte de aire rico en ozono desde los trópicos ha estado reducido a lo largo del año debido a los fuertes vientos alrededor del Polo Norte a 20 km de altitud.

Este debilitamiento de la capa de ozono ártica (Fig. 8) y su posterior desplazamiento a latitudes más bajas a lo largo de la primavera y el verano ha dado lugar a registros muy bajos de ozono y altos de UV.

## EFFECTOS SOBRE LA PENINSULA IBERICA y LAS ISLAS BALEARES

El episodio comentado de adelgazamiento de la capa de ozono en el Ártico tuvo su momento más acusado en el mes de marzo, con una anomalía media respecto a los valores medios del orden del 30 al 50% durante prácticamente todo el mes (Fig. 9).

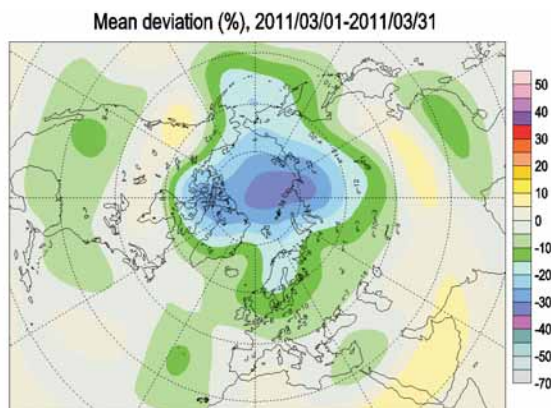


Fig. 9.- Desviación Marzo (Media 1978-88, TOMS)

Fte: Environment Canada. World Ozone and Ultraviolet Data Center  
<http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/clf2/e/main.html>

A finales de marzo esta anomalía en el Ártico comenzó a disminuir (Fig. 10), pero las masas de aire con bajo ozono se fueron desplazando, primero por Escandinavia y norte de Rusia y posteriormente a zonas de Europa Central hasta llegar a la Península Ibérica. El primer episodio claro se observó entre los días 29 de marzo y 3 de abril, con un mínimo de 290 U. D. en Coruña y posteriormente entre los días 4 y 13 de abril, con un mínimo de 290 U. D. en Madrid. En ambos periodos hubo anomalías sobre el 10-15% por debajo de los valores medios.

Total ozone (DU) / Ozone total (UD), 2011/04/01

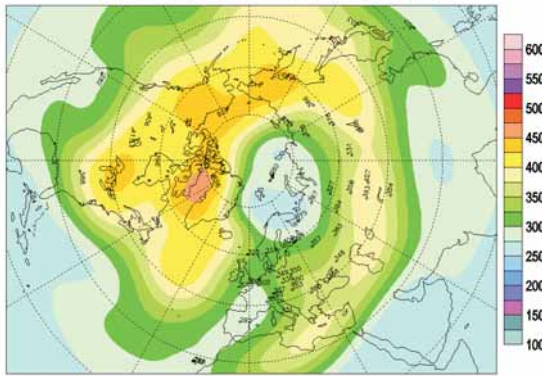


Fig. 10.- Ozono total en columna en U.D.

Fte: Environment Canada. World Ozone and Ultraviolet Data Center  
<http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/clf2/e/main.html>

Hasta la mitad de junio se fueron sucediendo otros episodios menores, la entrada de frentes y la inestabilidad atmosférica de ese periodo propicio mayor movimiento en las masas de aire (Fig. 11).

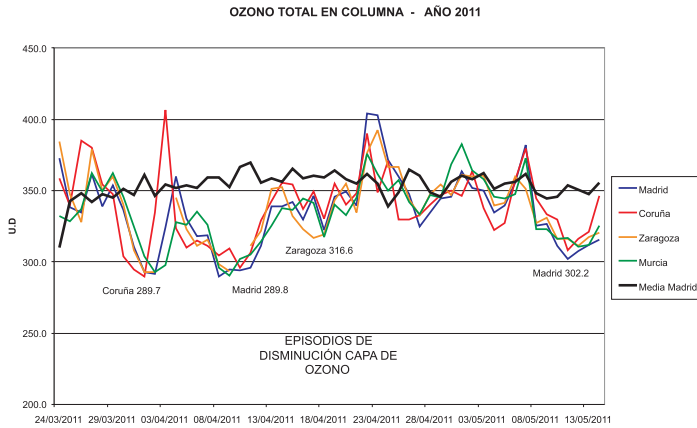


Fig. 11.- Valores medios diarios de ozono total en columna

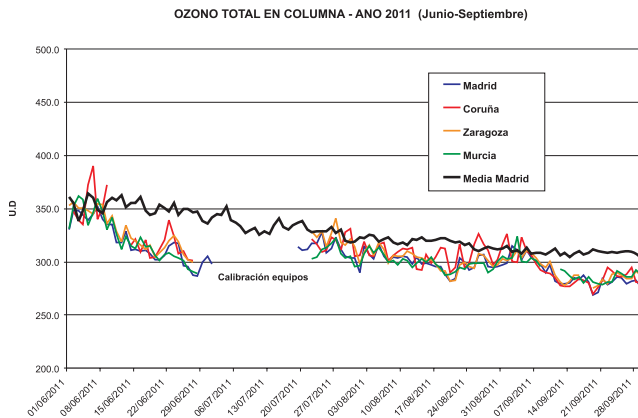


Fig. 12.- Valores medios diarios de ozono total en columna

A partir de mediados de junio, con la entrada del verano y el establecimiento de los anticiclones estivales, se produce un estancamiento de los valores diarios de ozono en un 5 % por debajo de los normales como término medio (Fig.12).

En resumen, los valores medios mensuales fueron desde abril inferiores a los medios del mes (Fig. 13).

### MEDIA DIARIA MENSUAL DE UVI MAX DIARIO ESTACION: MADRID (AEMET - CRN - Ciudad universitaria)

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Año 2011</b>	1.5	2.9	3.9	6.8	8.7	9.9	10.1	9.0	6.9			
<b>MEDIA 95-10</b>	1.5	2.6	4.4	6.1	7.5	8.7	9.1	8.1	6.0	3.7	2.0	1.3
<b>MAXIMA 95-10</b>	1.8	3.1	4.9	6.7	8.2	9.4	9.9	8.7	6.4	4.3	2.4	1.5
<b>MINIMA 95-10</b>	1.1	2.1	3.9	5.1	6.1	8.0	8.3	7.4	5.4	3.5	1.6	1.0

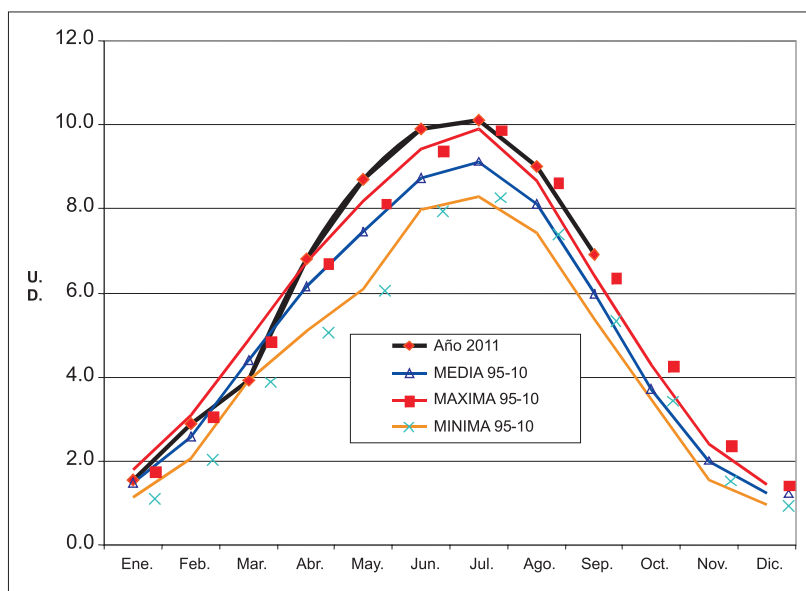


Fig. 13.- Valores medios mensuales de ozono total en columna

Pero lo más destacable, es que a estos periodos con valores bajos de ozono les corresponden periodos paralelos con valores de radiación ultravioleta B muy altos.

Así en abril se habían alcanzado ya los valores de mayo, en septiembre se han mantenido valores propios de agosto y en los meses álgidos de junio, julio y agosto se han registrado valores de UVI un 5 o 10% por encima de los normales.

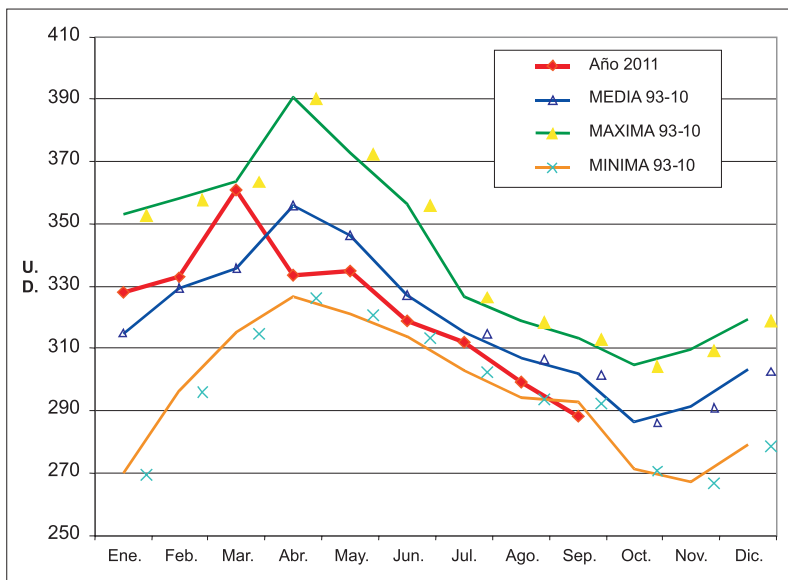
Gran cantidad de días se sobrepasaron los máximos históricos de un periodo de 16 años (1995-2010) de medidas (Fig. 14).

Observando la evolución de los valores de UVI máximos diarios a lo largo de estos meses (Fig. 15) se ve que, de forma paralela a la variación del ozono en el periodo de abril hasta mediados de junio, aunque se supera casi siempre la media e incluso algunos días las máximas al principio hay bastante oscilación debida a la actividad atmosférica normal de la primavera pero a partir de mediados de junio la mayoría de los días se supera la media y numerosos días las máximas históricas.

## MEDIA DIARIA MENSUAL DE OZONO ESTACION: MADRID (INM-CRN-Ciudad universitaria)

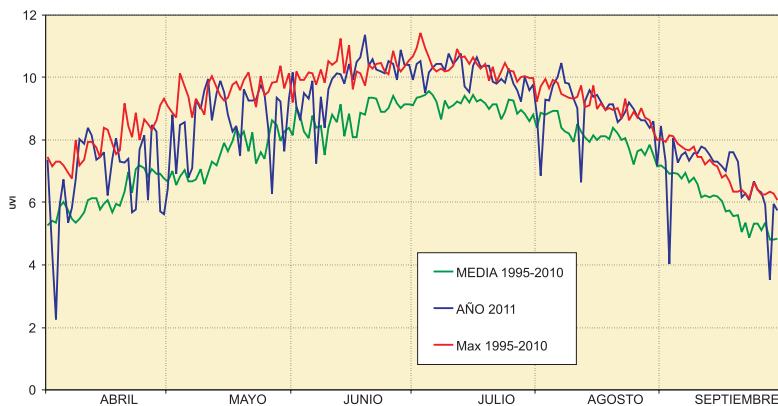
UNIDADES: U. Dobson

	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
<b>Año 2011</b>	328	333	361	334	335	319	312	299	288			
<b>MEDIA 93-10</b>	315	329	336	356	346	327	315	307	302	287	292	303
<b>MAXIMA 93-10</b>	353	358	364	391	373	356	327	319	313	305	310	319
<b>MINIMA 93-10</b>	270	296	315	327	321	314	303	294	293	271	267	279



*Fig.14.- Valores medios mensuales de UVI máximo diario*

### MADRID (CRN) - UVI MAXIMO DIARIO - AÑO 2011



*Fig.15.- Valores máximos diarios de UVI*

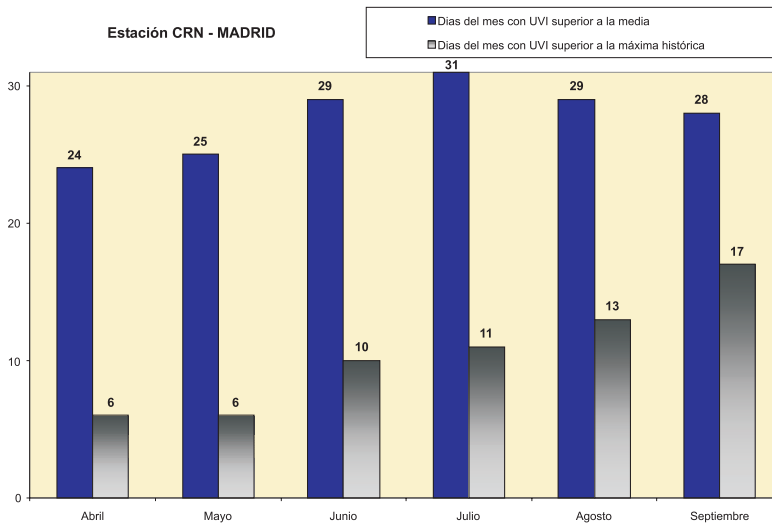


Fig. 16.- Número de días en que se supera el valor medio de UVI máximo diario

El número de días con UVI máximo diario superior a la media y superior a la máxima histórica (Fig. 16) suponen un porcentaje muy alto a partir del mes de junio.

En el siguiente cuadro resumen (Fig. 17) se puede observar, en varias estaciones de la Red, la comparación entre el número de días al año en que el UVI fue igual o superior a 10 (UVI Extremo), en un año normal (2010) y en el presente año, donde se puede ver las diferencias significativas en varias de ellas.

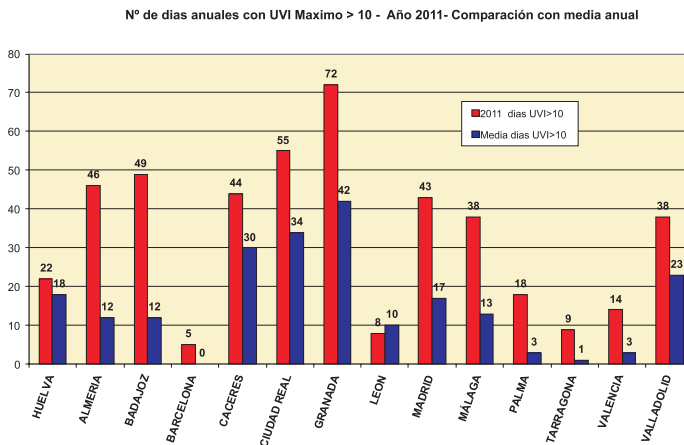


Fig. 17.- Número de días en que se supera el valor de 10 (UVI Extremo)

## VIGILANCIA EN LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGIA

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 sonde-

os de ozono 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 (Canadá).

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña de la Agencia Estatal de Meteorología, situado en la isla de Tenerife, es el centro de calibración de ozono de la red de espectrofotómetros Brewer de Europa, así como una estación de la red para la detección del cambio de la composición atmosférica en la que no solo se vigila y estudia la evolución del ozono, sino de todos los gases que interviene en los procesos de destrucción del ozono estratosférico (CFCs, óxidos de nitrógeno, etc)

AEMET dispone además 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, cuyos datos se muestran en la web externa de AEMET junto con los valores de ozono total en columna.

Por otra parte, en AEMET se ha comenzado una línea de trabajo en modelización de la calidad del aire con el modelo MOCAGE. Este modelo ha sido desarrollado por Météo-France y se utiliza en virtud de un acuerdo de colaboración entre las dos instituciones. Tiene en cuenta 119 especies químicas y más de 370 reacciones. La resolución vertical es buena con 47 niveles híbridos que se extienden desde el suelo hasta la estratosfera media. De ellos unos 9 niveles caen dentro de la capa límite planetaria. La extensión hasta la estratosfera permite que MOCAGE sea capaz de recoger fenómenos como el adelgazamiento de la capa de ozono sobre la Antártida en las primaveras australes (Fig. 18)

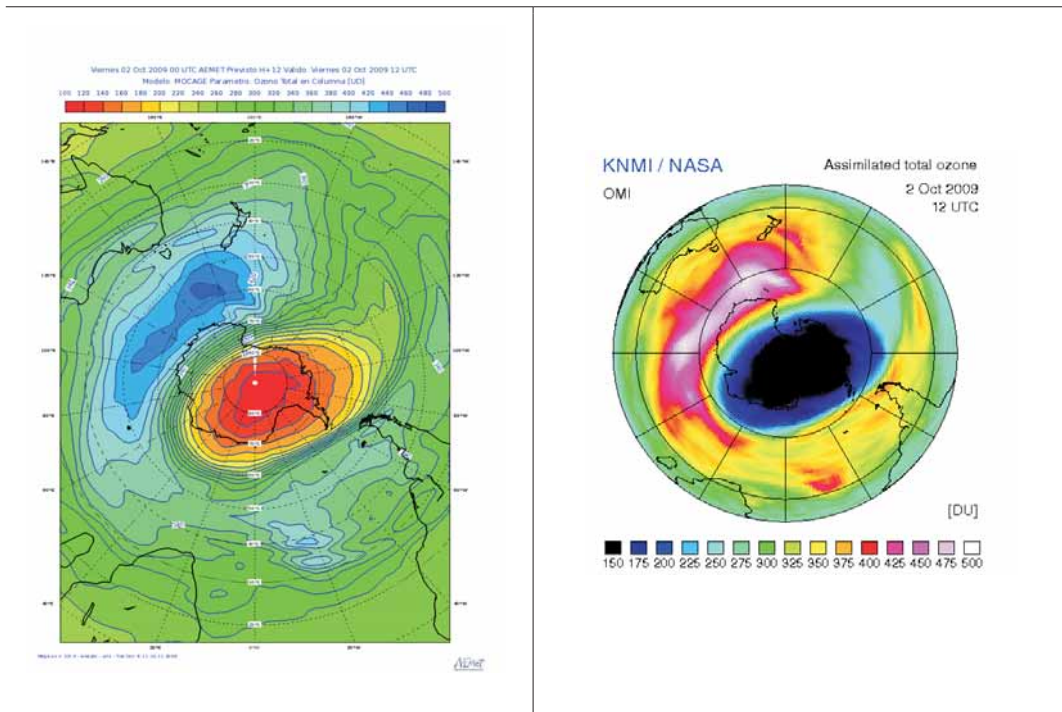


Fig. 18. Comparación entre una predicción de MOCAGE sobre la Antártida, válida el 2/9/2009 a las 12 UTC (izquierda) y las observaciones del instrumento OMI, para la misma fecha (Derecha).

**Obsérvese la coincidencia entre las estructuras del máximo y mínimo de ozono sobre la zona. Téngase en cuenta que la escala de colores esta invertida en ambas imágenes.**

MOCAGE es un modelo global que permite anidamientos adicionales a mayor resolución. Se ha comenzado a trabajar en una configuración con un dominio global a 2° al que se anida uno regional que cubre la mayor parte de Europa y el Atlántico Norte a 0.5° y un tercero sobre la península que tendrá una resolución de 0.1 grados. Ello va a permitir a AEMET por primera vez disponer de pre-

dicciones de especies químicas contaminantes, tales como el ozono, los óxidos de nitrógeno, el dióxido de azufre, entre otras. A pesar de su importancia desde el punto de vista de la calidad del aire, la versión de MOCAGE de la que dispone actualmente AEMET no permite tratar el material particulado. Adicionalmente MOCAGE permite disponer de predicciones de índice ultravioleta (UVI) en condiciones nubosas. Ello supone una mejora sobre el actual sistema de predicción de UVI operativo en AEMET que contempla predicciones de UVI máximo en condiciones de cielo despejado (Fig. 20).

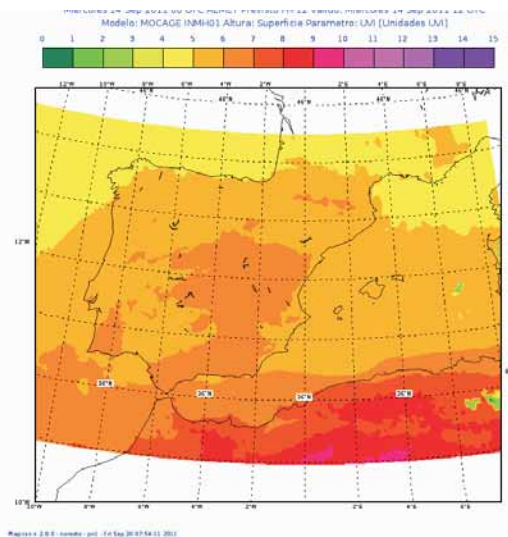


Fig. 19. Predicción de Índice Ultravioleta (UVI) sobre la superficie proporcionada por MOCAGE.

**El modelo MOCAGE tiene en cuenta la nubosidad (proporcionada por los forzamientos meteorológicos suministrados como dato de entrada a partir de HIRLAM)**

En resumen, esta pérdida sin precedentes de ozono en el Ártico y sus consecuencias en la elevación de los índices de radiación ultravioleta en el hemisferio norte, mas densamente poblado que el hemisferio sur, recomienda no descuidar la vigilancia de la capa de ozono así como la observación y la predicción de radiación ultravioleta, muy importante en un país como el nuestro de «sol y playa».

## BIBLIOGRAFIA

- Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2010. World Meteorological Organization. United Nations Environment Programme, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Aeronautics and Space Administration and European Commission.*
- The Arctic Ozone Layer, Angus Fergusson, Environment Canada*
- The Stratospheric Ozone Electronic Textbook (funded, developed, written and edited by members of NASA's Goddard Space Flight Center Atmospheric Chemistry and Dynamics Branch).*
- Unprecedented Arctic ozone loss in 2011. Gloria L. Manney et al. Nature 2011 (nature 10556).*
- The ECMWF Strategy 2011-2020. Disponible en: <http://www.ecmwf.int/about/programmatic/strategy/Strategy-2011-20-v2.6-1.pdf>*
- Daley, R. (1991) Atmospheric Data Analysis. Cambridge Atmospheric and Space Science Series. Cambridge University Press.*
- Delmas, R., Mégie, G., Peuch, V.H. (2005) Physique et chimie de l'atmosphère. Collection Échelles. Éditions Belin.*
- Seinfeld, J.H., Pandis, S.N. (2006) Atmospheric Chemistry and Physics. From Air Pollution to Climate Change. 2<sup>nd</sup> Edition. Wiley-Interscience.*