

## DIA INTERNACIONAL DE LA PRESERVACIÓN DE LA CAPA DE OZONO 2021

### PROTOCOLO DE MONTREAL: PARA MANTENERNOS FRESCOS A NOSOTROS, A NUESTROS ALIMENTOS Y VACUNAS

- El 16 de septiembre fue proclamado por la Asamblea General de las Naciones Unidas 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
- El tema de este año quiere resaltar otros beneficios del Protocolo de Montreal además de su objetivo de proteger la capa de ozono, al lograr la reducción de las sustancias destructoras del ozono. También contribuye a la desaceleración del cambio climático y al aumento de la eficiencia energética en el sector de la refrigeración, promoviendo así la seguridad alimentaria
- El agujero de ozono Antártico en 2020 fue el de mayor duración desde que se monitoriza la capa de ozono, y uno de los más grandes y profundos de los últimos años. Esto ha dado lugar al registro de irradiancia Ultravioleta mas altas de la historia.
- Los registros de ozono en el Ártico han estado entre los mas bajos de la historia, registrándose durante cinco semanas valores inferiores a 210 UD.
- La Red mundial de observación de ozono EUBREWNET que gestiona AEMET, ha sido reconocida como red de referencia por el programa Copernicus y puesta como ejemplo durante la ultima reunión del comité de expertos de la UNEP.
- AEMET participa de forma activa en la vigilancia mundial de la capa de ozono: dispone de una amplia red nacional de observación de la radiación ultravioleta y de la capa de ozono, y de un Centro Regional de Calibración en Ozono, y gestiona la red mundial EUBREWNET. Además, elabora 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 los siguientes enlaces:

<https://ozone.unep.org/ozone-day/montreal-protocol-keeping-us-our-food-and-vaccines-cool>  
<https://www.unenvironment.org/ozonation/events/world-ozone-day/world-ozone-day-16-september-2021>

El Protocolo de Montreal ha sido uno de los acuerdos medioambientales más exitosos hasta la fecha, su aplicación ha llevado a la eliminación de alrededor del 99 por ciento de las sustancias destructoras de la capa de ozono.

El lema elegido para celebrar el Día Internacional de la Preservación de la Capa de Ozono de 2021, “**Protocolo de Montreal: para mantenernos frescos a nosotros, nuestros alimentos y vacunas**” quiere resaltar otros beneficios de este acuerdo. Entre otras cuestiones, el Protocolo ha contribuido a la desaceleración del cambio climático y al aumento de la eficiencia energética en el sector de la refrigeración, promoviendo así la seguridad alimentaria.

### La importancia de la Capa de Ozono

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 ecosistemas y sobre la salud humana.

Además, su relevancia es aún mayor si tenemos en cuenta la pequeña proporción en la que se encuentra en la atmósfera. A modo de símil, 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  $-78^{\circ}\text{C}$ ). 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, definido como aquella área donde la cantidad total de ozono en columna es inferior a 220UD (Unidades Dobson)<sup>1</sup>, en la Antártida 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.

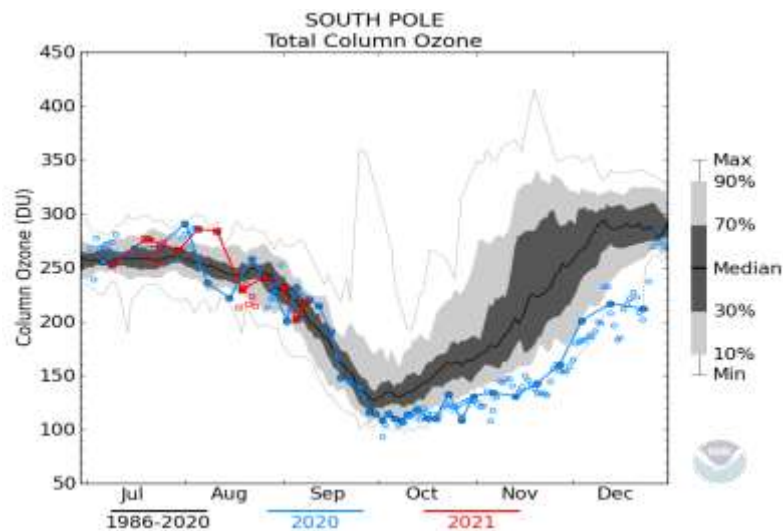
### **Evolución de la Capa de Ozono durante 2020 y 2021**

El agujero de ozono Antártico en 2020 fue uno de los más grandes y profundos de los últimos años, y el que persistió por más tiempo desde que comenzó la monitorización de la capa de ozono hace 40 años. Creció rápidamente a partir de mediados de agosto y, el 20 de septiembre de 2020, alcanzó un máximo de unos 24,8 millones de kilómetros cuadrados, extendiéndose sobre la mayor parte del continente antártico. Se cerró finalmente a finales de diciembre.

Esta situación se produjo como consecuencia de un vórtice polar fuerte, estable y frío y de temperaturas muy frías en la estratosfera (la capa de la atmósfera situada entre los 10 km y 50 km de altitud). Los mismos factores meteorológicos que también contribuyeron al agujero récord de ozono sobre el Ártico en 2020.

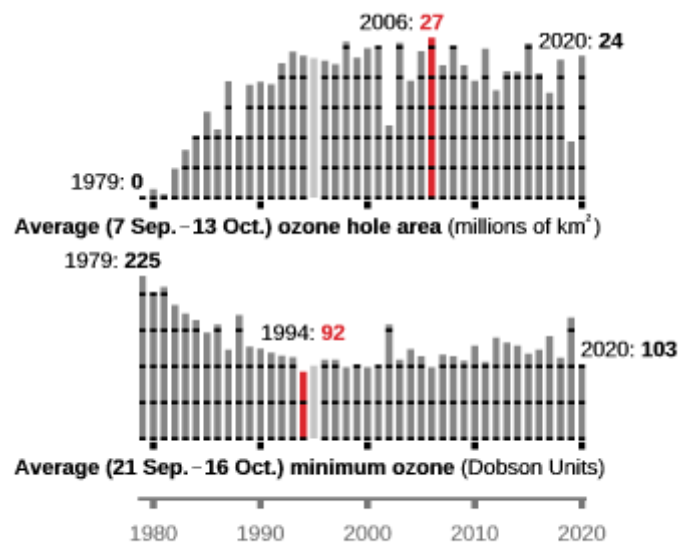
---

<sup>1</sup> La unidad Dobson (UD) es una medida de la densidad de un gas traza en la atmósfera. Se suele utilizar 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 ( $0^{\circ}\text{C}$  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 son algo superiores a las 300 UD. El nombre es en honor 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



Comparativa que muestra los valores de ozono en columna (UD) registrados en el polo sur durante el periodo de mayor destrucción de ozono en 2020 (azul) y lo que va de 2021 (rojo), frente a los valores medios, máximos, mínimos y percentiles (grises) registrados en el periodo 1986-2020. (Fuente: NASA Ozone Watch, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>, [2])

De acuerdo a las observaciones de la NASA, el año pasado el agujero de ozono Antártico tuvo una extensión media de 23,5 millones de km<sup>2</sup>. En cuanto al valor mínimo de ozono en promedio registrado en la región antártica durante el período de máxima destrucción de ozono, este fue de 103 UD, con un valor mínimo en columna de 94 UD el 6 de octubre.



Comparativa que muestra la evolución anual de la extensión media del agujero de ozono (millones de Km<sup>2</sup>) y los valores mínimos de ozono en columna medios (UD) obtenidos por la NASA durante los periodos de mayor destrucción de ozono, desde 1979. (Fuente: NASA Ozone Watch, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>, [2])

La evolución del agujero de ozono antártico en 2020 contrasta con el que se produjo en 2019, que fue inusualmente pequeño y de corta duración, lo que demuestra la variabilidad anual del agujero de ozono y la necesidad de continuar

con estas observaciones para entender las interacciones entre el ozono y el cambio climático, la recuperación de la capa de ozono y los futuros efectos sobre esta. También nos recuerda la importancia de la acción internacional continua para hacer efectivo el cumplimiento del Protocolo de Montreal.

Los valores del Ozono en el Ártico durante la primavera del 2020 han estado entre los más bajos registrados, concentraciones de 220 Unidades Dobson se han dado durante 5 semanas entre Marzo y Abril del año 2020, muy por debajo de los valores registrados en los años 1997 y 2011. Las condiciones inusualmente frías y un potente vórtice polar en la estratosfera Ártica han provocado esta disminución record del ozono Ártico.

Los últimos informes publicados sobre la evolución de la capa de ozono (Ozone Assessment WMO/UNEP 2018 [1], LOTUS-SPARC 2019 [3]) indican que los niveles de SDO siguen disminuyendo desde hace 20 años, y que la capa de ozono se está recuperando, observándose desde 2010 una tendencia positiva en la alta estratosfera. La recuperación se estima que no culmine hasta el año 2050 debido a la larga vida en la atmósfera de las SDO. Nuevas investigaciones publicadas recientemente en la revista Nature ponen de manifiesto que las emisiones no declaradas de CFC-11 no ponen en peligro la recuperación observada de la capa de ozono.

### 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, una vez validados, se envían diariamente a al Centro Mundial de Datos de Ozono y Radiación UV (WUODC) en Canadá, por encargo de la Organización Meteorológica Mundial, con el fin de confeccionar los mapas de espesor total de ozono en el Hemisferio Norte.

La información diaria del contenido de ozono en columna en todas las estaciones de la red se publica diariamente en la página web de AEMET, en el siguiente enlace:

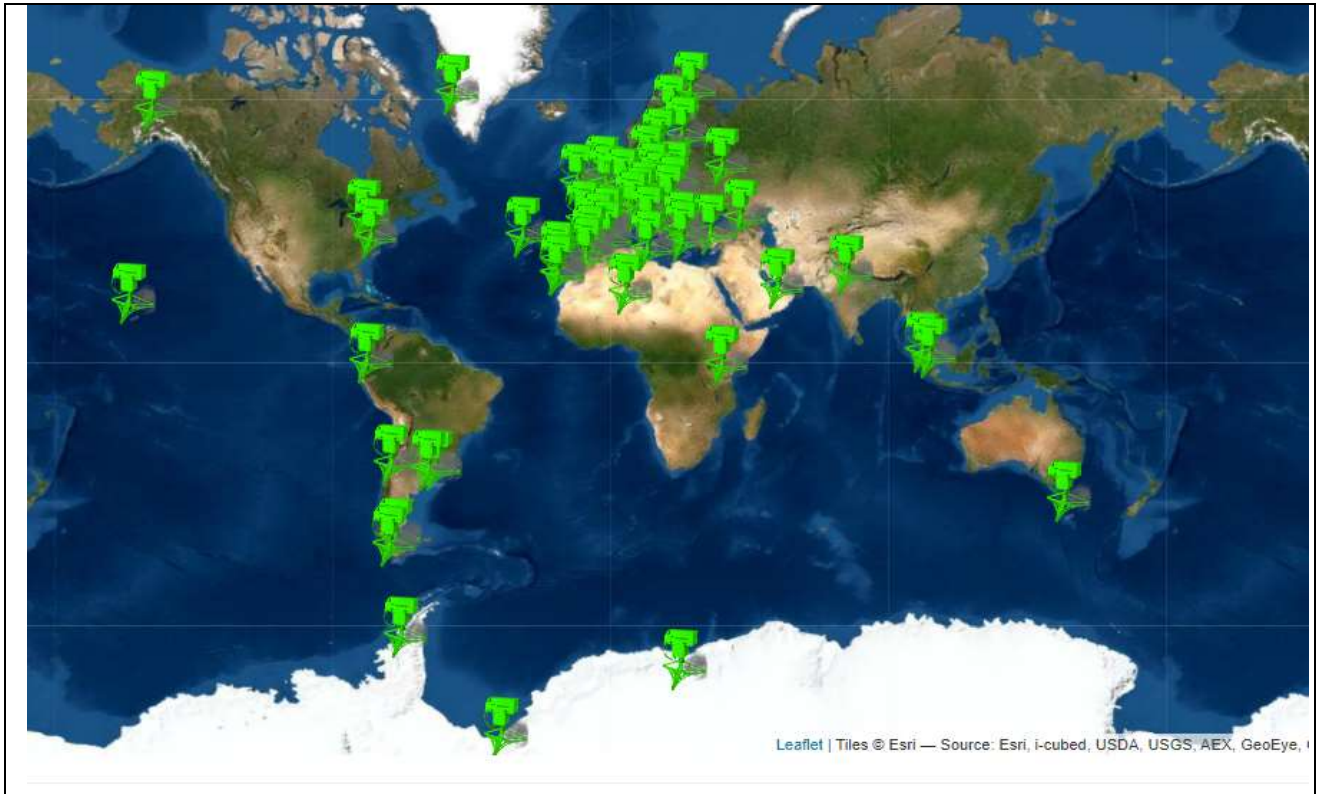
<http://www.aemet.es/es/eltiempo/observacion/radiacion/ozono?datos=mapa>

El Centro de Investigación Atmosférica de Izaña (CIAI) 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 organiza además en actividades formativas y participa en el desarrollo de nuevas tecnologías asociadas a la observación del ozono.

El CIAI también es también el centro de calibración de ozono de la red de espectrofotómetros PANDORA (<https://www.pandonia-global-network.org>) financiada por las agencias espaciales ESA y NASA. Este equipo también proporciona medidas de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y AOD que son usados en la validación de satélites.

El Observatorio de Izaña es, asimismo, una de las estaciones de medida de referencia en el mundo reuniendo las medidas más precisas de ozono con diferentes técnicas instrumentales: 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 dirige y gestiona la red EUBREWNET (European Brewer Network), red de observación de ozono mundial desarrollada durante la acción Europea COST-ES120. EUBREWNET, que comenzó en el año 2014 como un proyecto europeo, hoy engloba a más de 70 instrumentos instalados en los cinco continentes. Esta red permite la distribución de datos en tiempo real, y, el procesado centralizado de las observaciones **ha sido reconocida como red de referencia por el programa Copérnicus y puesta como ejemplo durante la última reunión del comité de expertos de la UNEP.**



*Red de estaciones de medida de ozono integradas en EUBREWNET ([www.eubrewnet.org](http://www.eubrewnet.org))*



Participantes del 16th campaña de calibración Brewer, organizada por el RBCC-E celebrado en El Arenosillo Huelva (España).

Además, AEMET dispone de una red de medida de radiación ultravioleta - íntimamente relacionada 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>



Red Nacional de estaciones de medida de ozono y radiación ultravioleta

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 químico<sup>1</sup> 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.

## Referencias

- [1] Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018. Organización Meteorológica Mundial (OMM), <https://ozone.unep.org/sites/default/files/2019-05/SAP-2018-Assessment-report.pdf>
- [2] Ozone Hole Watch. Goddard Space Flight Center. National Aeronautics and Space Administration, <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov>
- [3] SPARC report “Long-term Ozone Trends and Uncertainties in the Stratosphere (LOTUS)”: <http://www.sparc-climate.org/publications/sparc-reports/sparc-report-no-9/>

---

<sup>1</sup> 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.