



Acerca de los Autores

Raúl R. Cordero
Universidad de Santiago de Chile

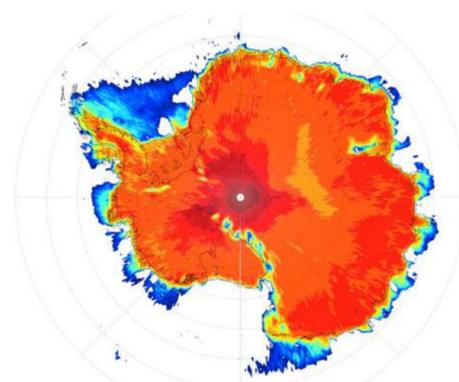
Alessandro Damiani
Universidad de Santiago de Chile

Sarah Feron
Leuphana Universität

Luis Da Silva
Universidad Técnica Federico Santa María

Fernando Labbé
Universidad Técnica Federico Santa María

David Laroze
Universidad de Tarapacá



ISBN: 978-956-358-026-6

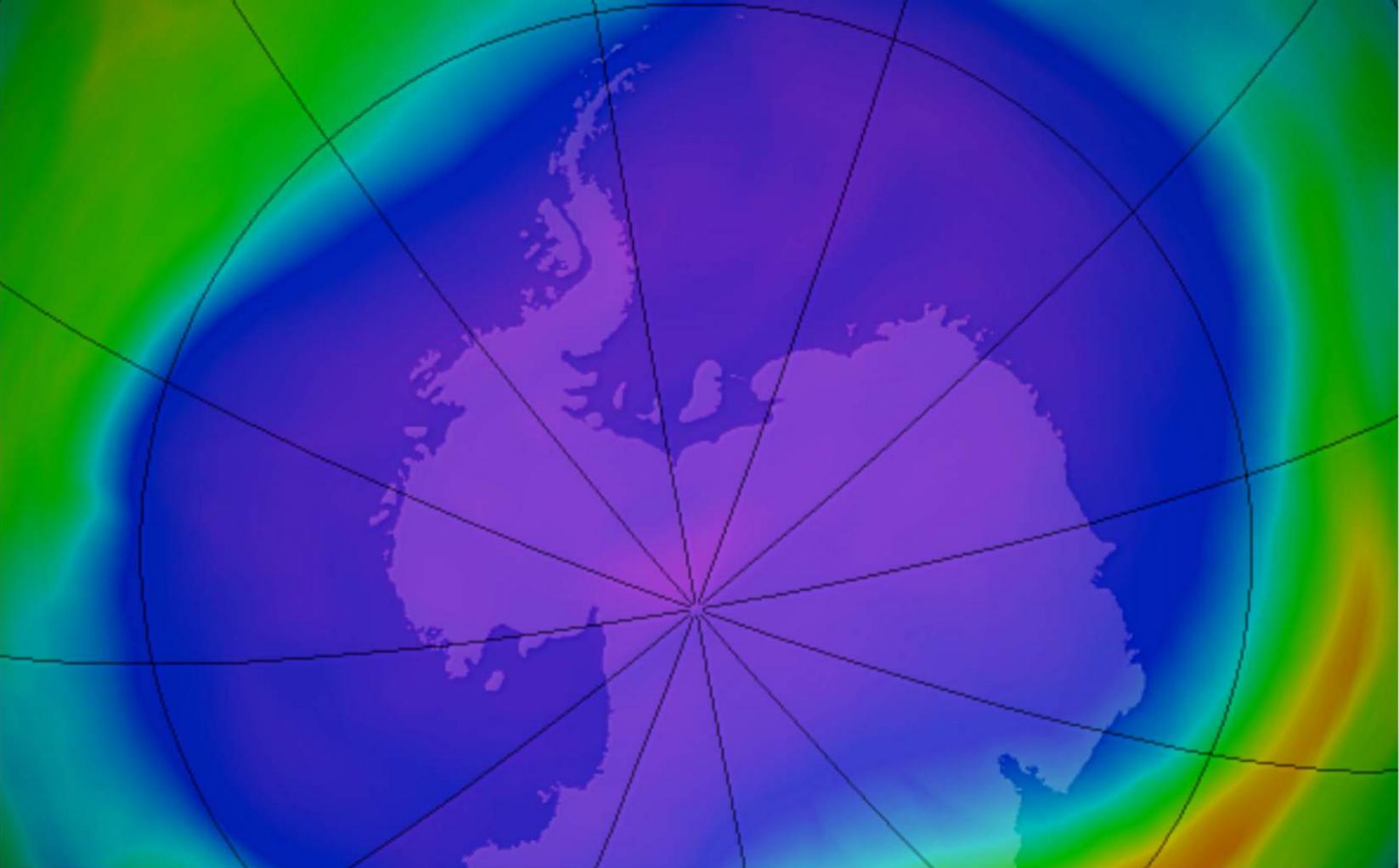


Ozono y Radiación UV

Respuestas a las Preguntas Claves

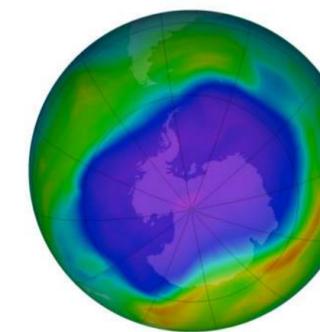
www.antarctica.cl

Ozono y Radiación UV



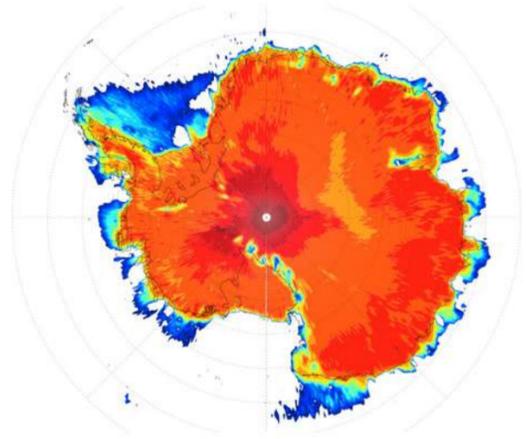
Ozono y Radiación UV

Respuestas a las Preguntas Claves



Acerca de la Portada

El Agujero en la Capa de Ozono más grande jamás detectado: 24 de Septiembre de 2006.
Créditos: "NASA Ozone Watch"
<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>



ISBN: 978-956-358-026-6



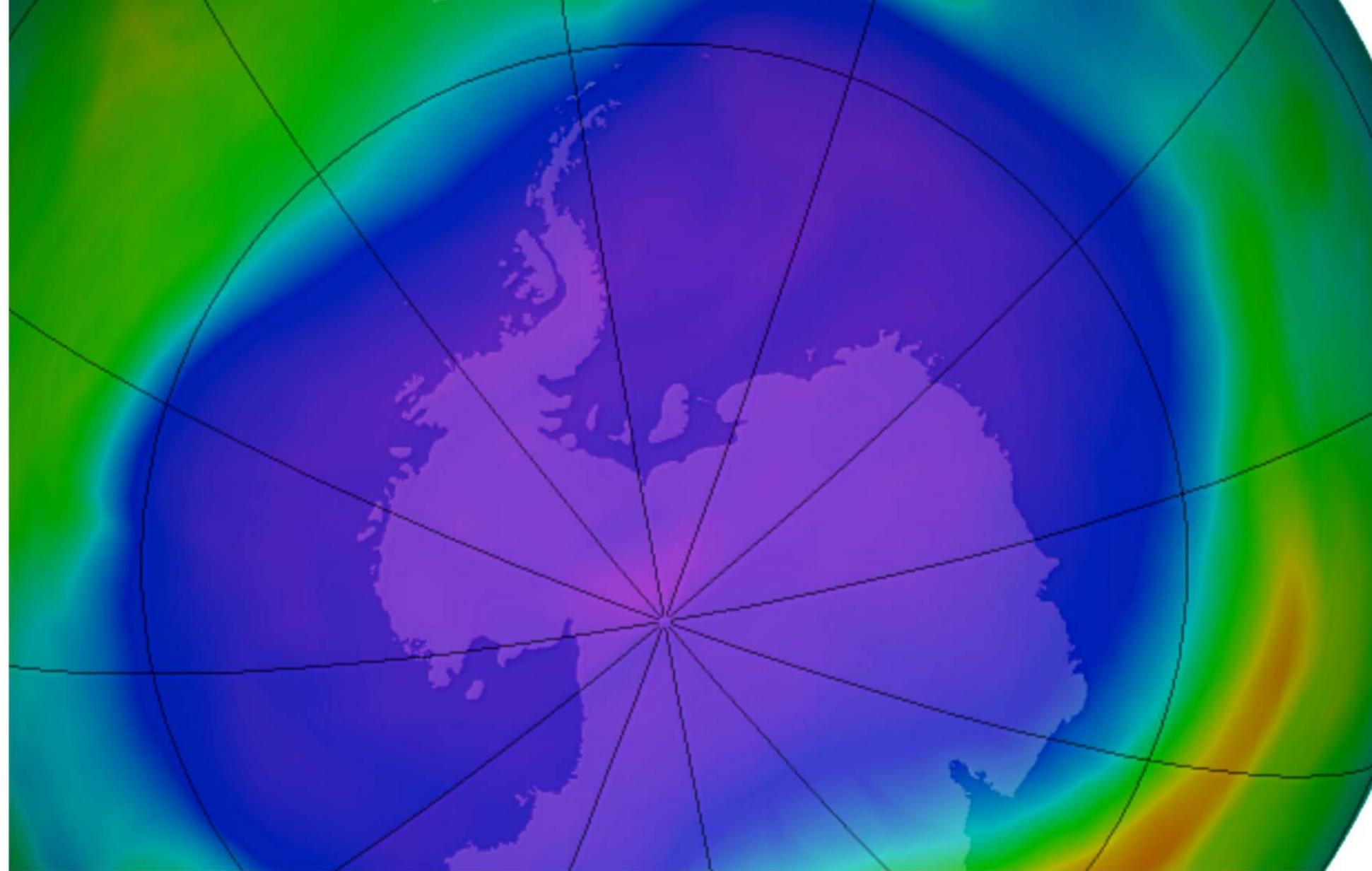
9 789563 580266

Ozono y Radiación UV

Respuestas a las Preguntas Claves

www.antarctica.cl

Ozono y Radiación UV



Ozono y Radiación UV

Respuestas a las Preguntas Claves

Ozono y Radiación UV

Respuestas a las Preguntas Claves

Raúl R. Cordero

Universidad de Santiago de Chile

Alessandro Damiani

Universidad de Santiago de Chile

Sarah Feron

Leuphana Universität

Luis Da Silva

Universidad Técnica Federico Santa María

Fernando Labbé

Universidad Técnica Federico Santa María

David Laroze

Universidad de Tarapacá

ISBN: 978-956-358-026-6

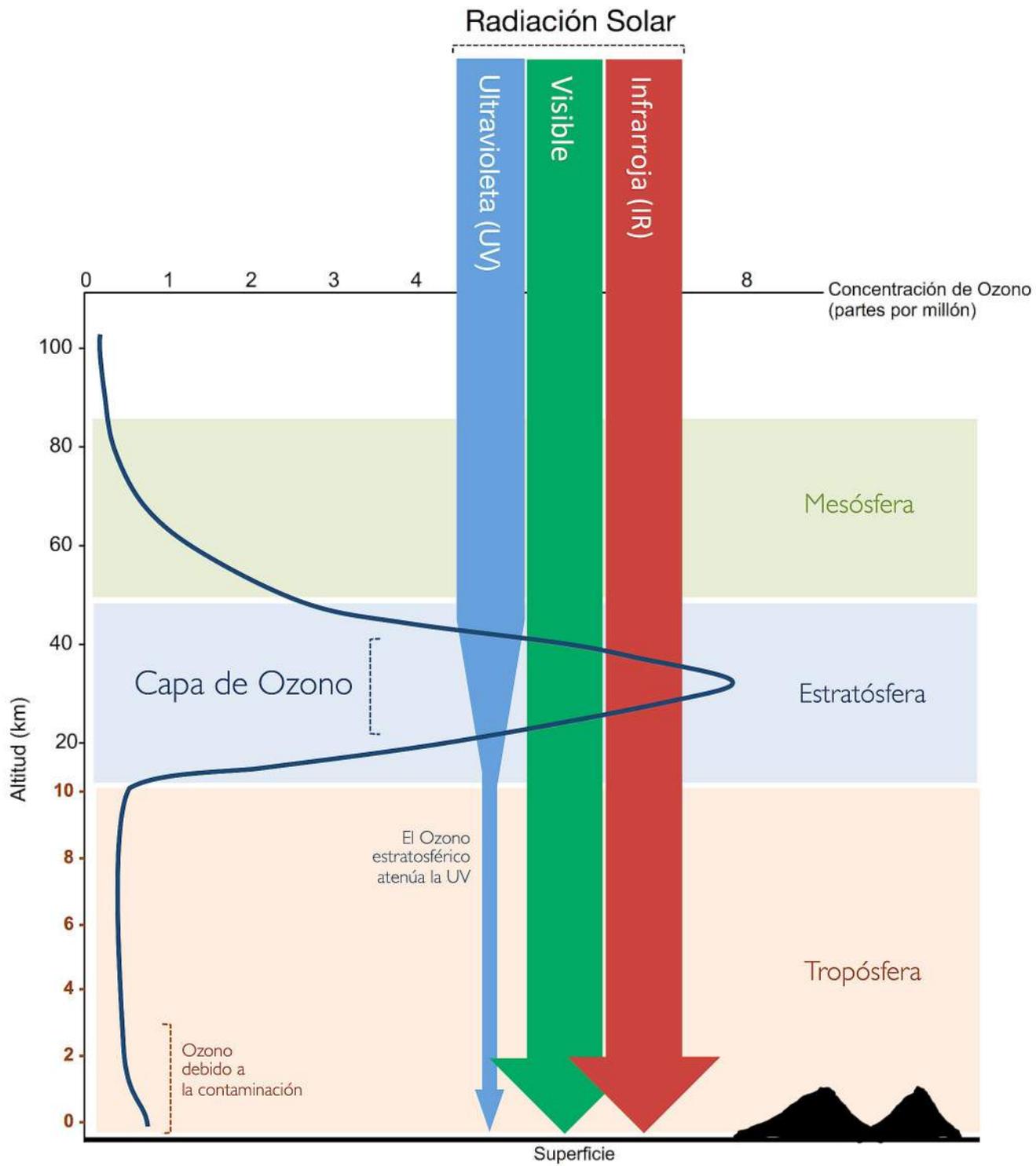
Publicación: Santiago de Chile, Agosto del 2014

Agradecimientos:

USACH-DICYT ASOCIATIVOS

INACH

CONICYT (FONDECYT 1120639, ANILLO ACT-98, FONDEF IT13110034,
REDES 130047)



El Ozono absorbe parcialmente la radiación ultravioleta (UV).

¿Qué es el Ozono?

El Ozono es un gas que está presente de manera natural en la atmósfera. Se trata de una molécula de tres átomos de oxígeno que reacciona rápidamente con varios compuestos químicos y cuyo símbolo es O₃ (la O representa el Oxígeno).

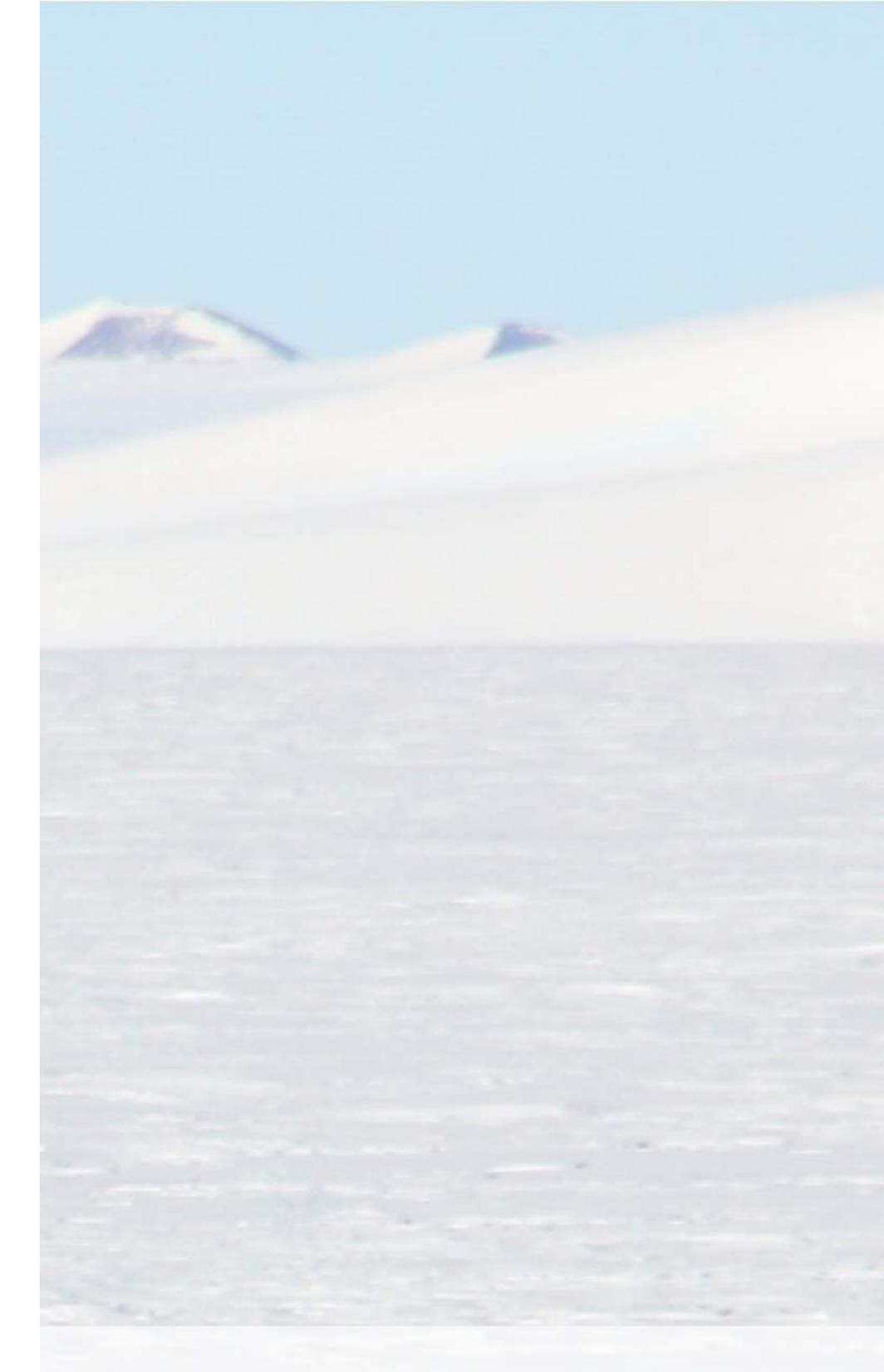
El Ozono en la atmósfera protege la vida en la Tierra al absorber la parte de la radiación solar ultravioleta (UV) que es más dañina para la biósfera. Sin la existencia del Ozono en la atmósfera la vida fuera de los océanos sería inviable.

Cerca de un 90% del Ozono se encuentra en la estratósfera, es decir entre los 10 y los 50 km de altitud. El Ozono estratosférico es comúnmente conocido como la “Capa de Ozono”.

En la tropósfera, es decir a altitudes menores a los 10 km, también existe Ozono (aunque en menor cantidad que en la estratósfera) que en general resulta de actividades humanas. El Ozono troposférico no tiene un papel beneficioso relevante y se considera un contaminante pues su inhalación tiene efectos negativos en la salud humana. Santiago de Chile por ejemplo, es una de las ciudades del mundo afectadas por Ozono troposférico, especialmente en verano.



Mediciones de radiación solar UV en el campamento Glaciar Unión (Antártica). Estas mediciones permiten la determinación de la Columna Total de Ozono (TOC, por sus siglas en Inglés).

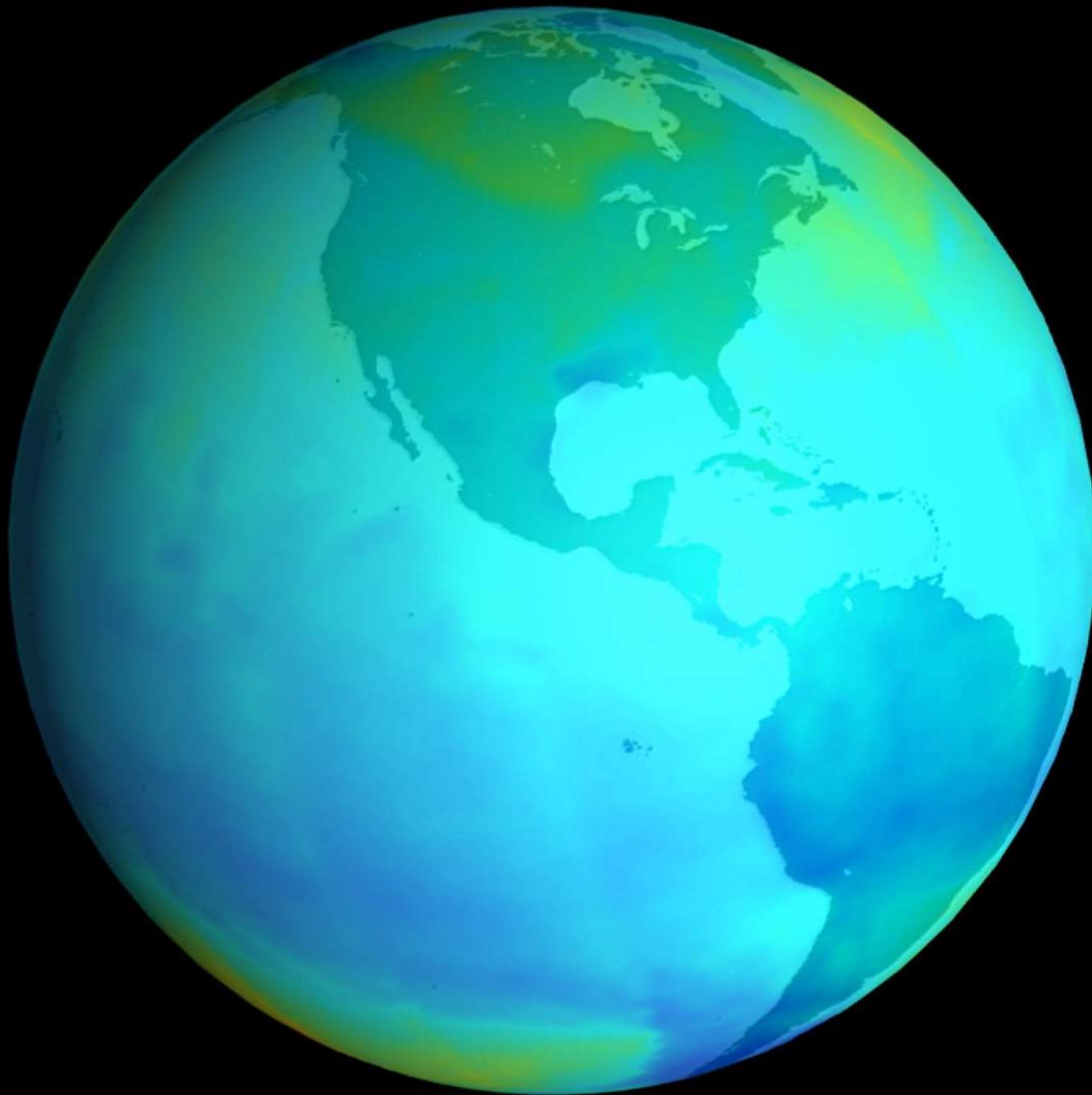


¿Cómo se cuantifica el Ozono?

Una medida de la abundancia de Ozono en la atmósfera es la “Columna Total de Ozono” (TOC, por sus siglas en inglés).

La forma más común de estimar la Columna Total de Ozono requiere la medición de la intensidad de la radiación solar UV. Debido a que la radiación UV es absorbida por el Ozono, el detectar altas intensidades de UV indica escasez de Ozono en la atmósfera (lo que se asocia a valores bajos de la TOC); por el contrario, la detección de bajas intensidades de UV indica gran abundancia de Ozono (lo que se asocia a valores altos de la TOC). Los resultados de estas mediciones indirectas de la Columna Total de Ozono se entregan en Unidades Dobson (DU, por sus siglas en inglés).

Las mediciones de la Columna Total de Ozono se pueden realizar en la superficie o mediante satélites. Los instrumentos en tierra (como el de la fotografía) miden la radiación UV que alcanza la superficie después de pasar a través de la Capa de Ozono. Los instrumentos a bordo de satélites miden la radiación retrodispersada hacia el espacio por la atmósfera.



Los colores en la figura indican la Columna Total de Ozono. Los tonos azules indican bajas cantidades de Ozono; los colores verdes y amarillos indican mayor abundancia de Ozono. Este mapa fue construido usando estimaciones satelitales. (Créditos: "NASA Ozone Watch", <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>).

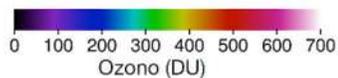
¿Varía el Ozono?

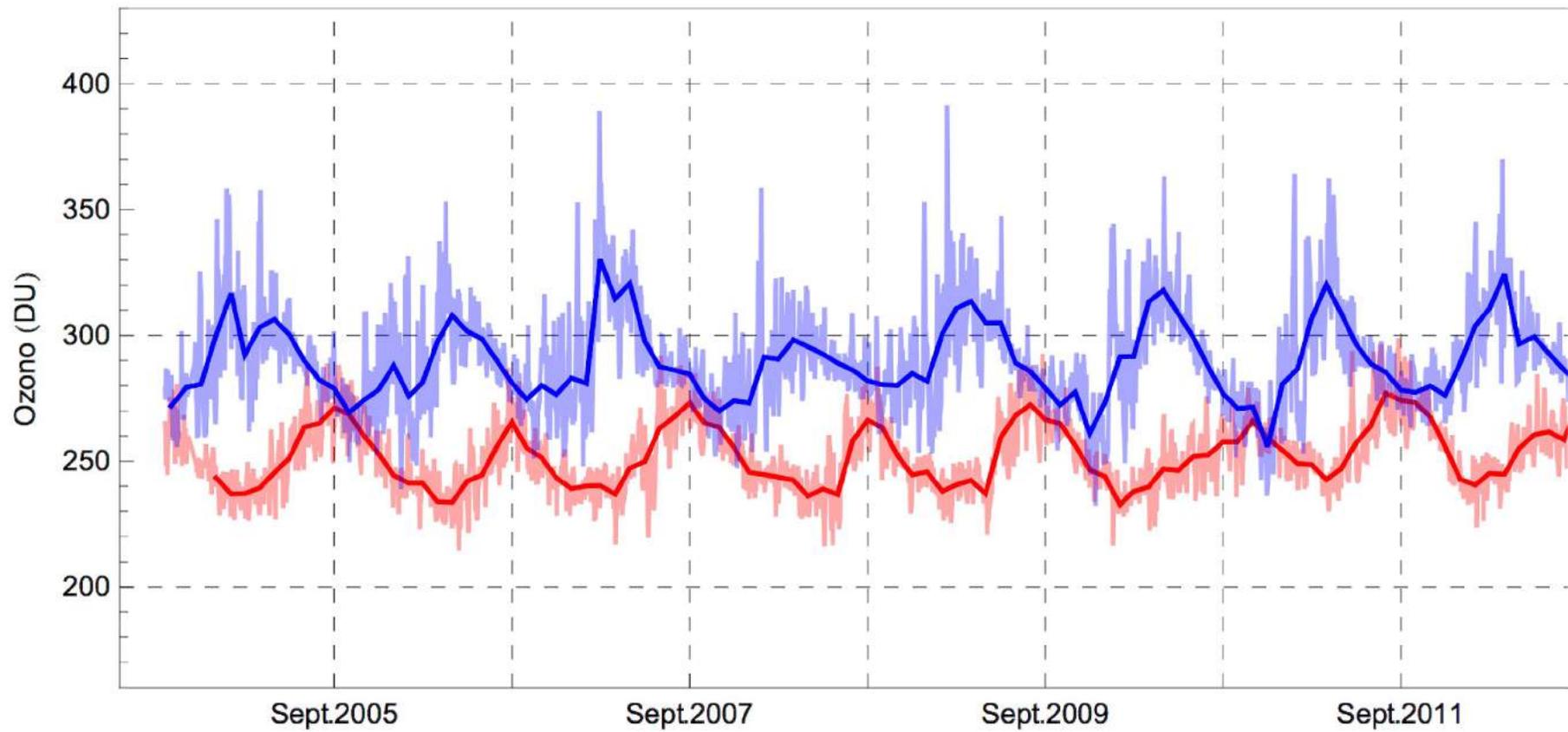
Sí, la Columna Total de Ozono presenta variaciones diarias y estacionales (ver páginas siguientes) que están relacionadas con la dinámica estratosférica.

Además, debido a que el Ozono no está distribuido uniformemente, la Columna Total de Ozono cambia con la locación geográfica. Aunque el Ozono es producido en latitudes tropicales, la abundancia de Ozono estratosférico es mayor hacia los polos, y menor hacia el Ecuador. También existen diferencias íterhemisféricas; la Columna Total de Ozono es mayor en el hemisferio Norte que en el hemisferio Sur.

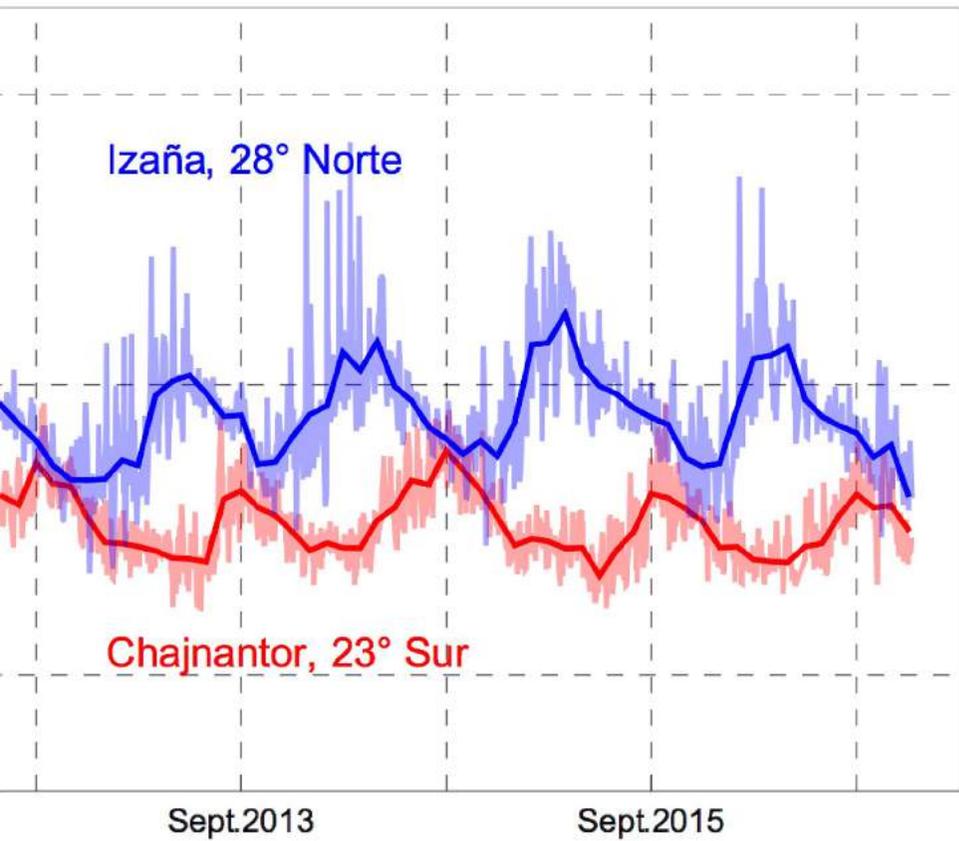
Independientemente de las variaciones naturales descritas arriba, una depleción o reducción significativa en la Columna Total de Ozono fue detectada en todo el mundo a partir de los años 70 del siglo pasado.

Esta reducción global en la Columna Total de Ozono, (conocida como la “Depleción de la Capa de Ozono”) ha sido atribuida a la presencia en la atmósfera de “Sustancias Destructoras de Ozono” (en general, sustancias que contienen Cloro y Bromo) relacionadas con actividades industriales.





La figura permite comparar los valores diarios de la Columna Total de Ozono (TOC, por sus siglas en Inglés) en dos sitios: el observatorio de Izaña (localizado en la Isla de Tenerife, a 2367 m de altitud, 28°18'N, 16°30'O), y la meseta de Chajnantor (localizada en el Desierto de Atacama, a 5100 m de altitud, 23°00'S, 67°45'O).



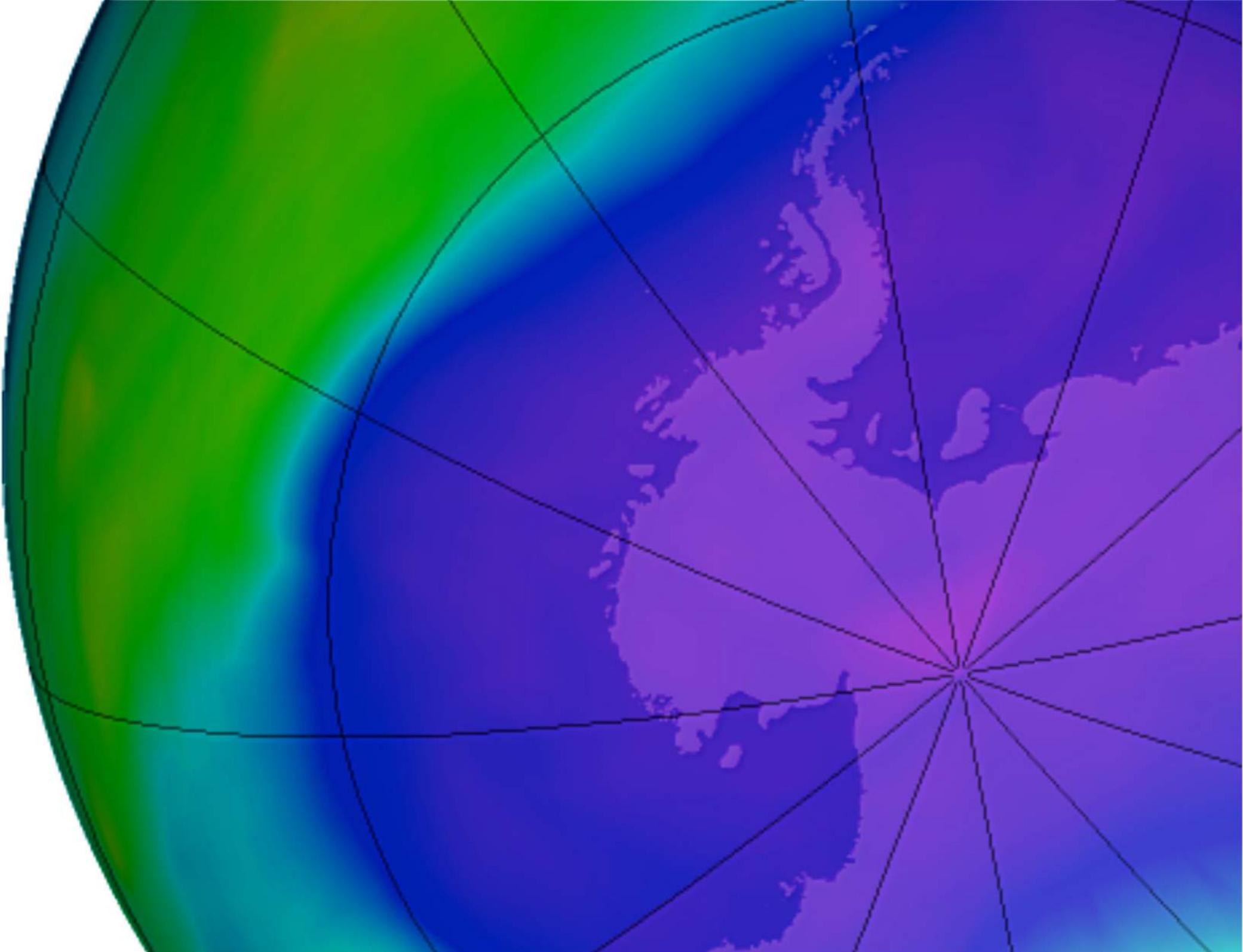
La abundancia de Ozono es en promedio mayor en el hemisferio norte que en el hemisferio sur, lo que genera diferencias interhemisféricas en la irradiancia solar UV: la radiación UV que alcanza la superficie es significativamente mayor en el hemisferio sur que en el hemisferio norte.



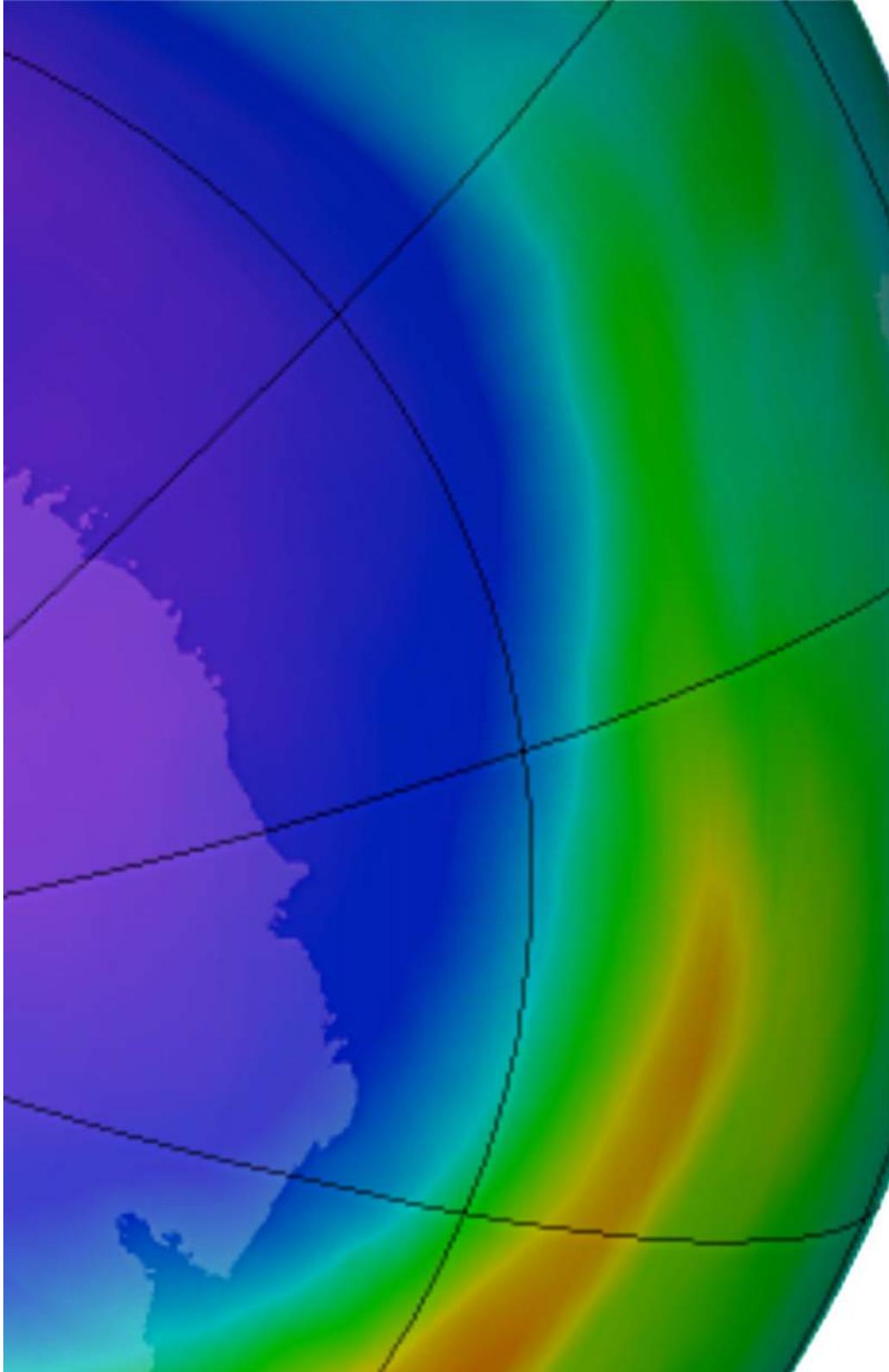
El arreglo de 4 telescopios (Very Large Telescope array, VLT) fotografiado en Enero del 2013 en el Observatorio Paranal. Cada telescopio consta de un espejo de 8,2 metros de diámetro.



El observatorio Paranal ($24^{\circ}37'S$ - $70^{\circ}24'O$) es uno de los observatorios más importantes del mundo y es operado por el European Southern Observatory (www.eso.org).



El Agujero en la Capa de Ozono más grande jamás detectado: 24 de Septiembre del 2006; los tonos violetas y azules indican valores de la Columna Total de Ozono extremadamente bajos (< 220 DU)



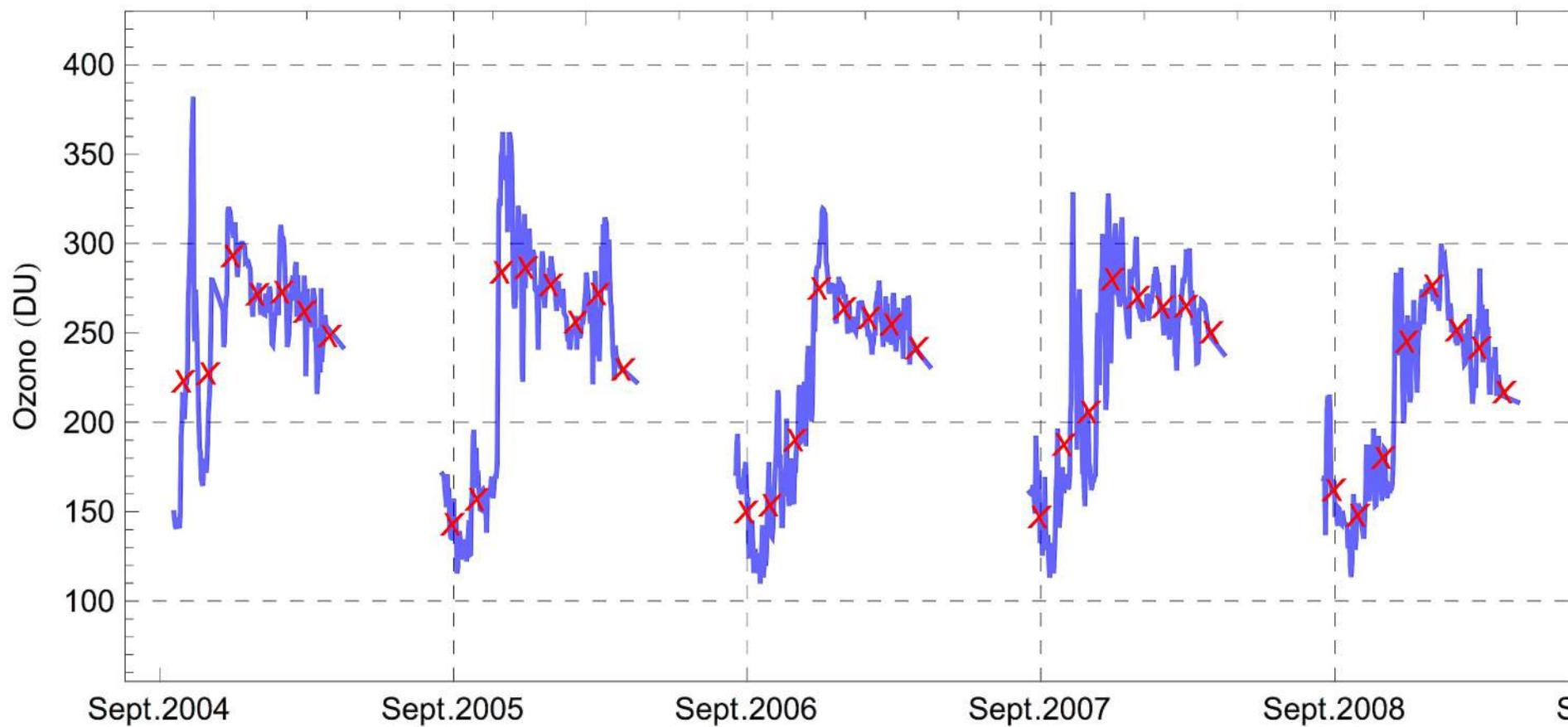
¿Qué es la Depleción en la Capa de Ozono?

La Depleción en la Capa de Ozono es una disminución no natural en la abundancia de Ozono estratosférico. Hasta inicios de este siglo los valores de la Columna Total de Ozono en todo el globo disminuyeron entre un 2% y un 5% (con respecto a los valores de la Columna Total de Ozono medidos en los años 60 y 70 del siglo XX).

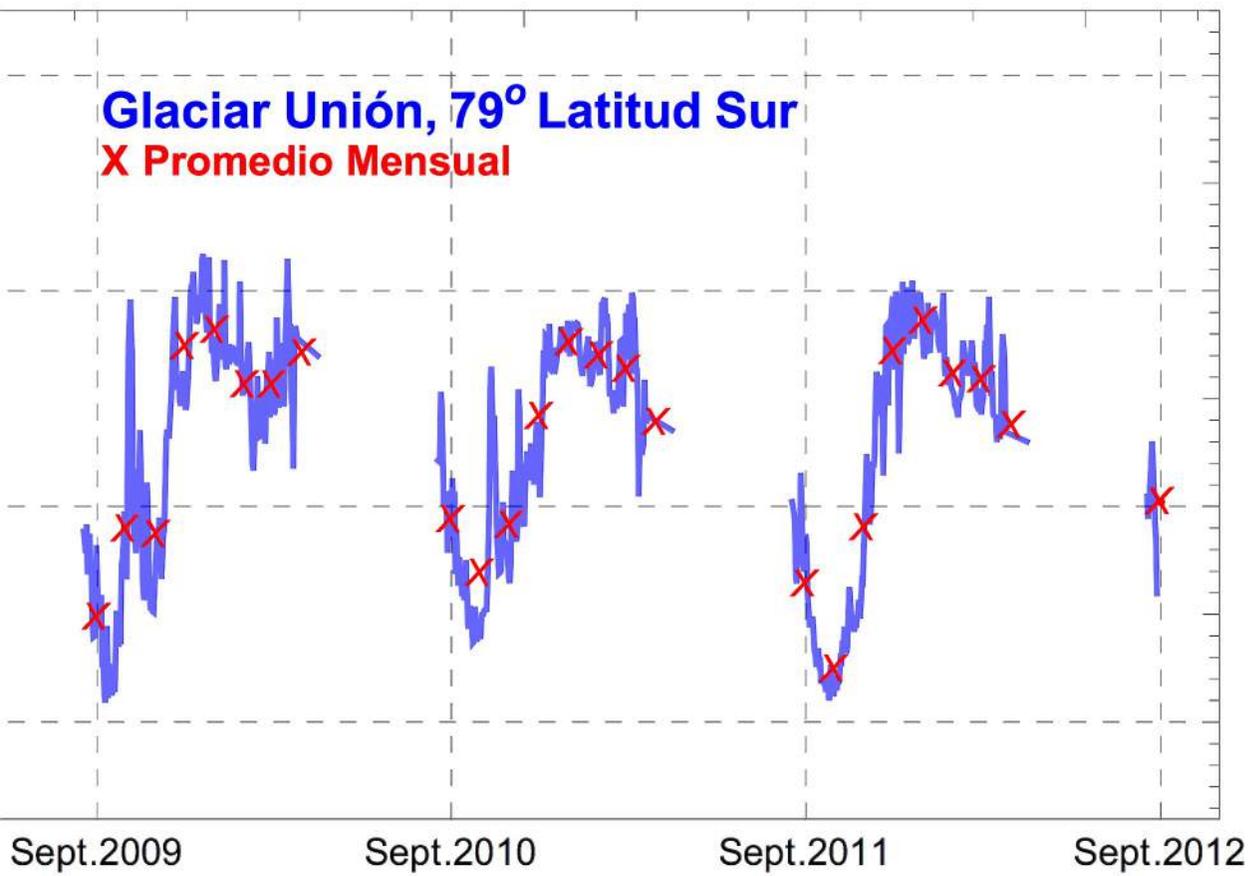
La Depleción en la Capa de Ozono es principalmente provocada por la presencia en la estratósfera de “Sustancias Destructoras de Ozono”. Aunque generadas por actividades industriales en latitudes medias, estas sustancias son muy estables por lo que después de generadas, son arrastradas por las corrientes de aire hacia la estratosfera alcanzando con el tiempo también los polos.

Aunque las “Sustancias Destructoras de Ozono” están presentes en toda la estratósfera, el agotamiento o destrucción de la Capa de Ozono se manifiesta más claramente en latitudes altas (particularmente en la Antártica). De hecho el “Agujero en la Capa de Ozono” (ver figura) es un ejemplo de lo anterior.

El Agujero en la Capa de Ozono se forma debido a la destrucción masiva de Ozono estratosférico que anualmente ocurre al inicio de la primavera austral sobre una zona que prácticamente cubre todo el continente antártico.



La figura muestra los valores diarios de la Columna Total de Ozono en el campamento Glaciar Unión (localizado en el extremo sur de las montañas Ellsworth a unos 1000 km del Polo Sur, 700 m de altitud, 79°46'S - 82°52'O). Al inicio de la primavera austral (especialmente durante Septiembre y Octubre) se registran niveles de Ozono extremadamente bajos (menores a 220 DU) en esta zona. Estos valores extremadamente bajos están asociados al "Agujero en la Capa de Ozono".





Campamento Glaciar Unión (79°46'S - 82°52'O) fotografiado en Diciembre de 2012



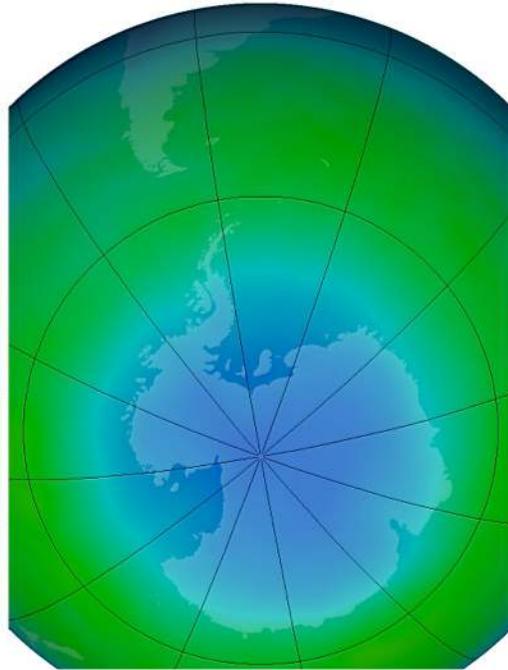
A más de 3,000 km al sur de Punta Arenas, este lugar es un importante centro logístico que apoya tanto a investigadores (climatólogos y glaciólogos) como a turistas extremos .



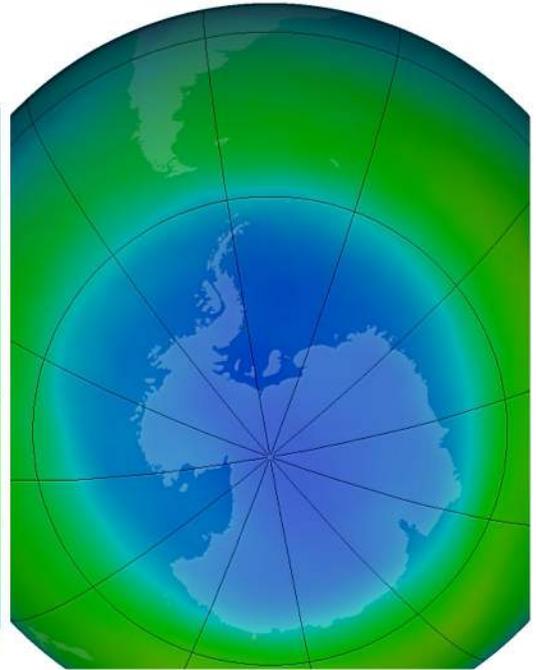
Mayo 2013



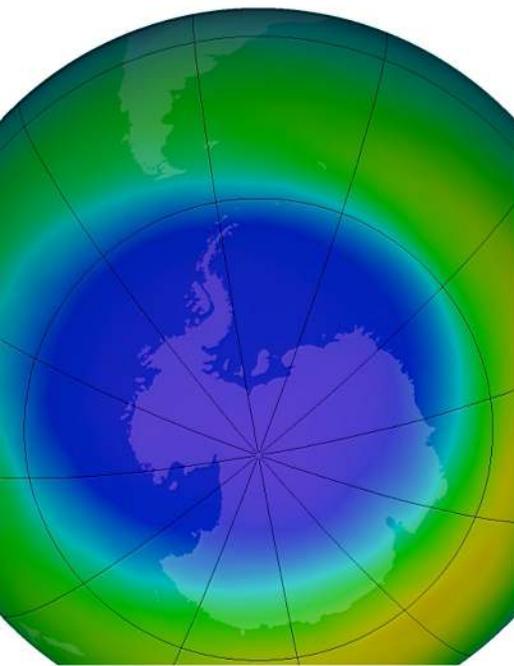
Junio 2013



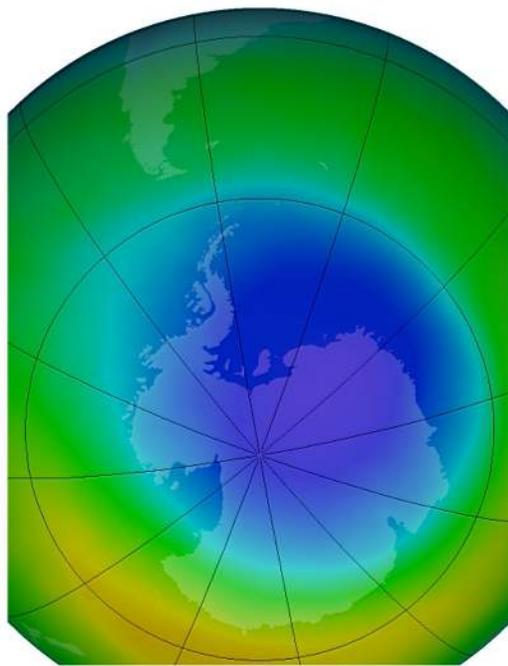
Julio 2013



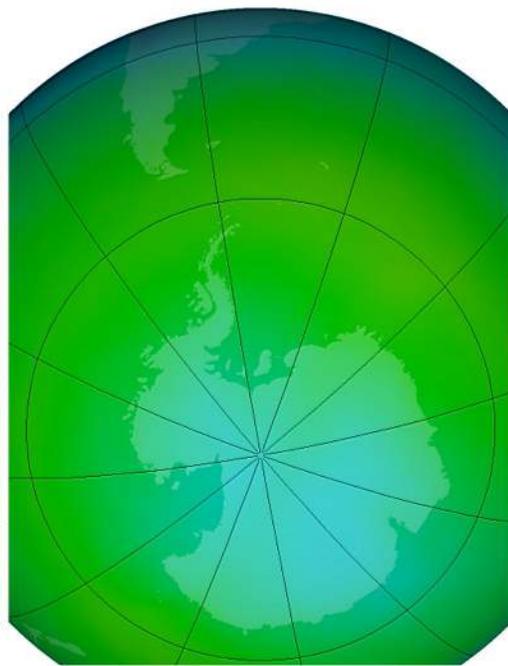
Agosto 2013



Septiembre 2013



Octubre 2013



Noviembre 2013



Diciembre 2013

Tal como lo muestran las figuras, el Agujero en la Capa de Ozono es un fenómeno estacional que ocurre en general al inicio de la primavera austral. Créditos: "NASA Ozone Watch", <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>

¿Por qué Ocurre en la Antártica el Agujero en la Capa de Ozono ?

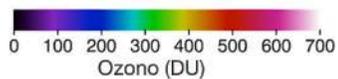
El Agujero en la Capa de Ozono es consecuencia de condiciones meteorológicas particulares que en general sólo se dan en la región antártica.

Las muy bajas temperaturas de la estratósfera antártica durante el invierno crean nubes llamadas “nubes estratosféricas polares” (NEPs), que no se presentan con igual frecuencia en el menos frío polo norte.

Las NEPs facilitan las reacciones químicas que destruyen el Ozono. Estas reacciones se inician al terminar el oscuro invierno polar cuando la radiación solar activa las "Sustancias Destructoras de Ozono".

La destrucción facilitada por las NEPS es tan masiva que forma un Agujero en la Capa de Ozono sobre una zona que prácticamente cubre todo el continente antártico. Al mismo tiempo, el vórtice polar antártico -que se mantiene normalmente de Agosto a Noviembre- tiende a evitar que Ozono de otras latitudes entre a la zona y cierre el Agujero.

Cuando las temperaturas suben al final de la primavera, las NEPs dejan de formarse y cesa por tanto la destrucción masiva de Ozono. Entonces, Ozono de otras latitudes arrastrado por los vientos cierra el agujero.

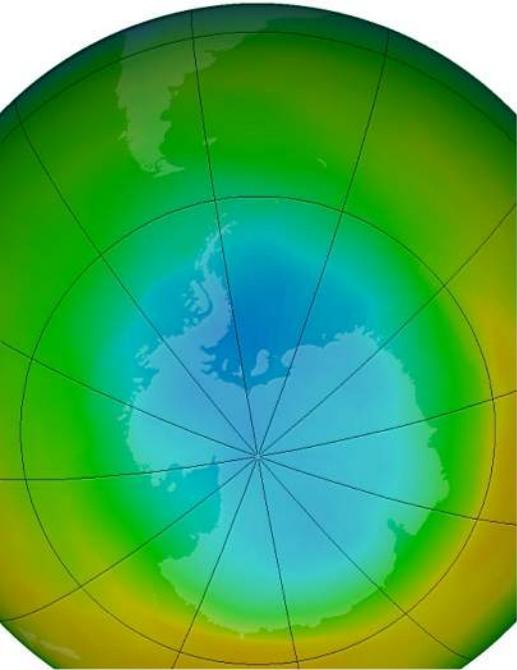




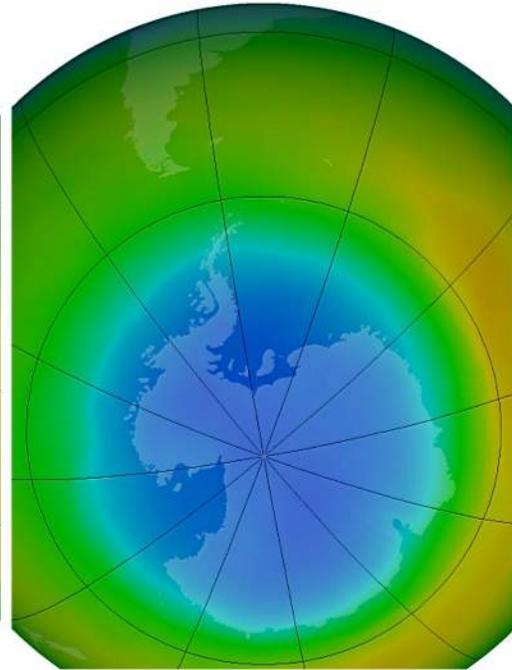
Bahía Fildes en la Isla Rey Jorge (62°12'S - 58°57'O) fotografiada en Septiembre del 2013.



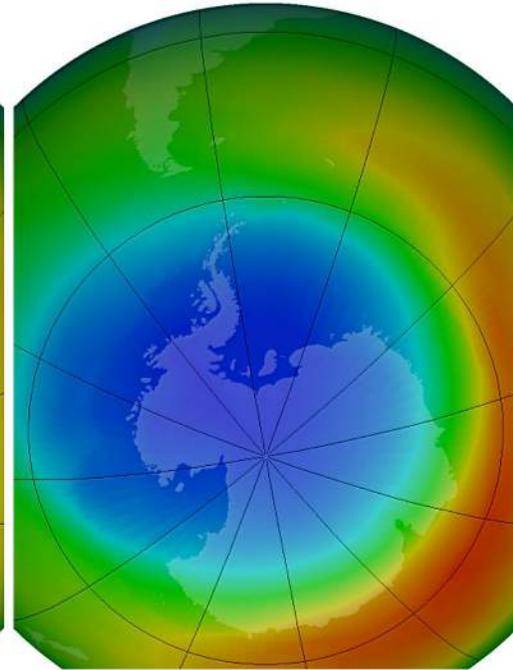
Ubicada en el extremo norte de la Península Antártica, en este lugar se encuentra la Base "Escudero" del Instituto Antártico Chileno (www.inach.cl).



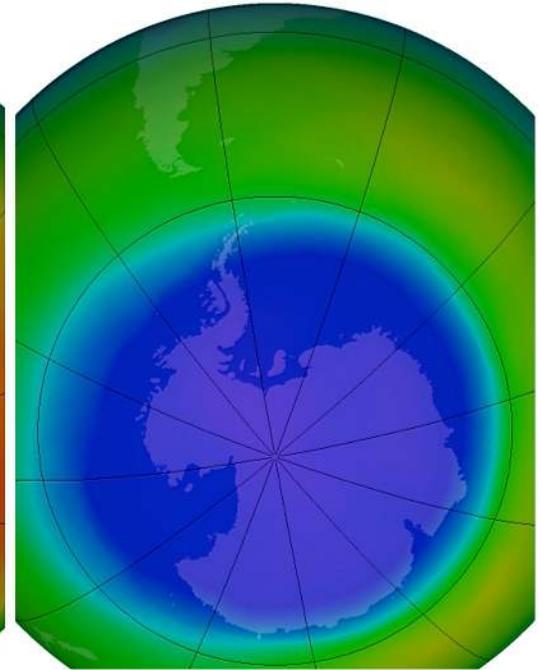
Septiembre 1979



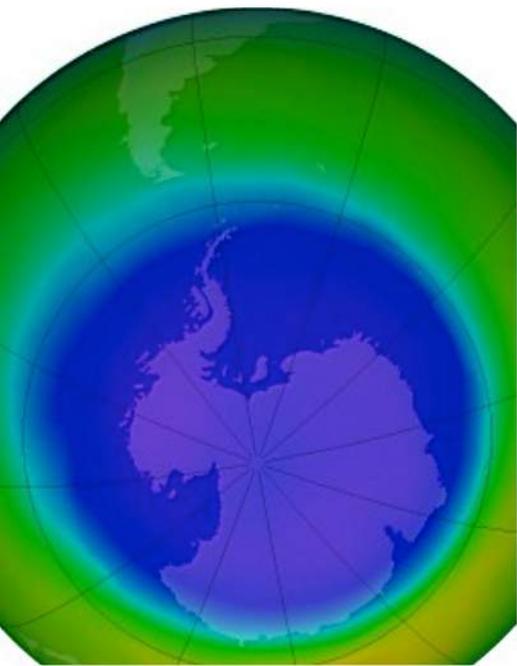
Septiembre 1983



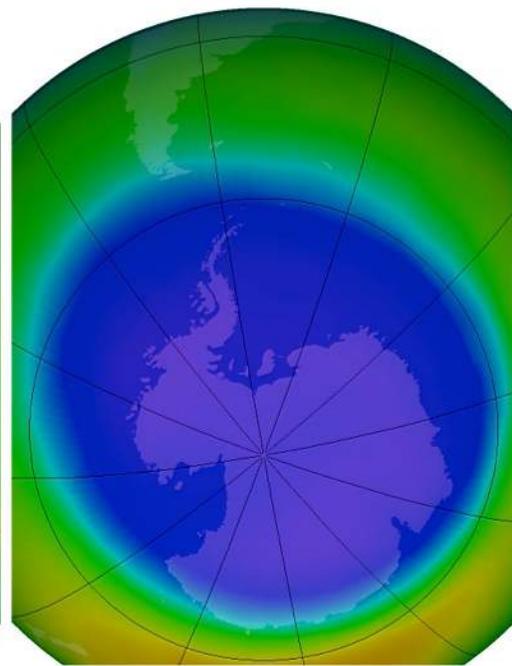
Septiembre 1988



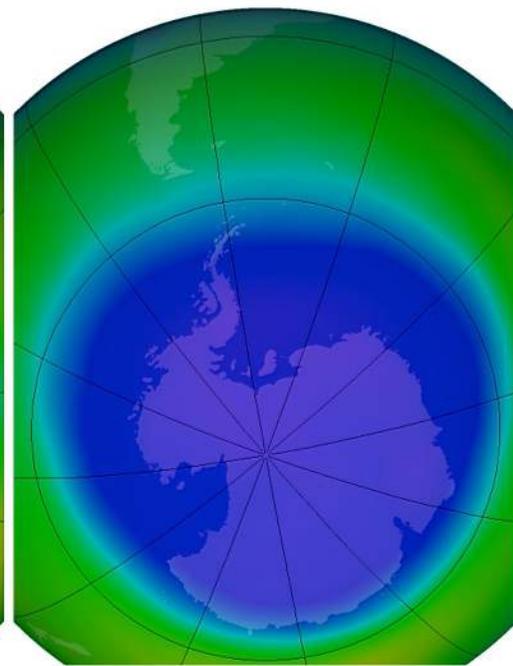
Septiembre 1992



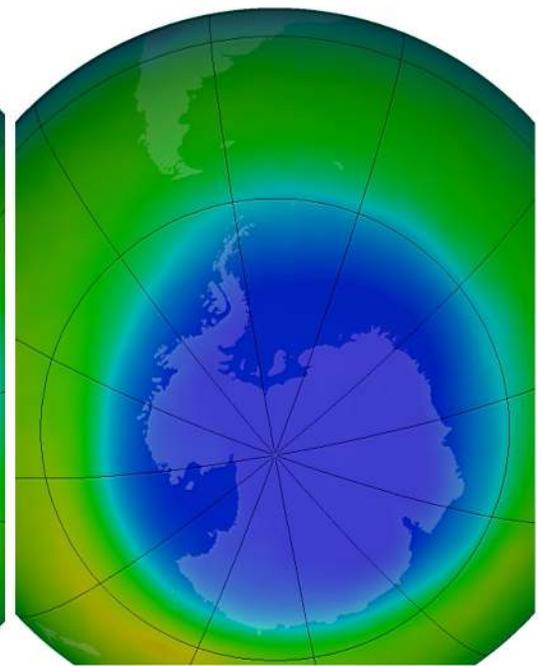
Septiembre 1998



Septiembre 2003



Septiembre 2008



Septiembre 2013

Aunque su crecimiento parece haberse detenido, el Agujero en la Capa de Ozono continúa siendo un problema grave. Créditos: "NASA Ozone Watch", <http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>

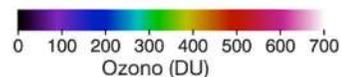
¿Cuáles son las Perspectivas para la Capa de Ozono?

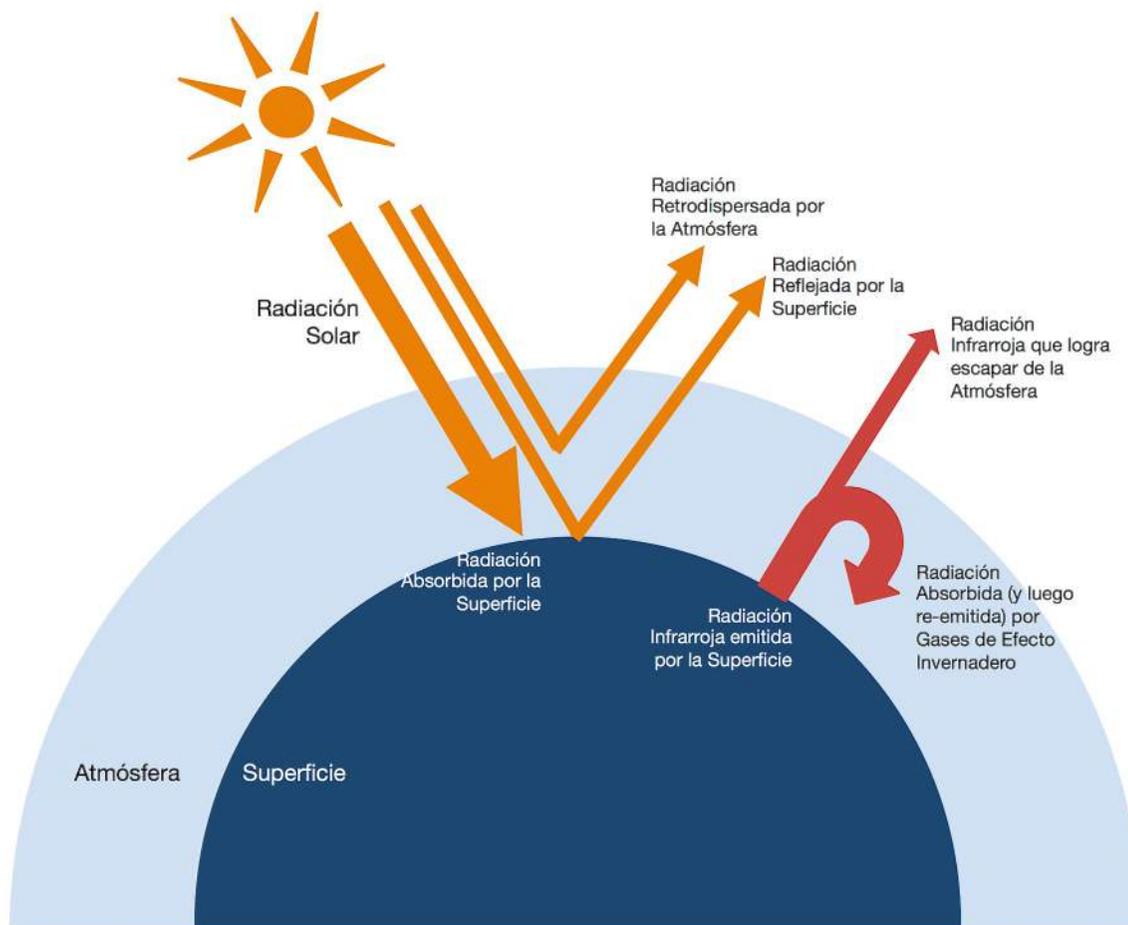
En gran medida gracias al Protocolo de Montreal, se espera que la Capa de Ozono se recupere a mediados del siglo XXI a medida que disminuyen las concentraciones en la atmósfera de las “Sustancias Destructoras de Ozono” (es decir, sustancias que contienen entre otros elementos Cloro y Bromo).

El Protocolo de Montreal, que entró en vigencia el 1 de Enero de 1989, establece normas de control para la producción de las “Sustancias Destructoras de Ozono”. Gracias a la aplicación del Protocolo de Montreal, la concentración en la estratósfera de estas sustancias ha comenzado a disminuir.

Sin el Protocolo de Montreal, la producción y el uso de “Sustancias Destructoras de Ozono” hubiera llevado a aumentar diez veces el Cloro en la estratósfera para el 2050 (en comparación con los niveles de 1980). Con esos niveles tan altos, la Depleción de la Capa de Ozono hubiese sido mucho mayor.

El Protocolo de Montreal ha sido ratificado por 197 países por lo que se trata del tratado internacional de protección del medio ambiente más exitoso de la historia.



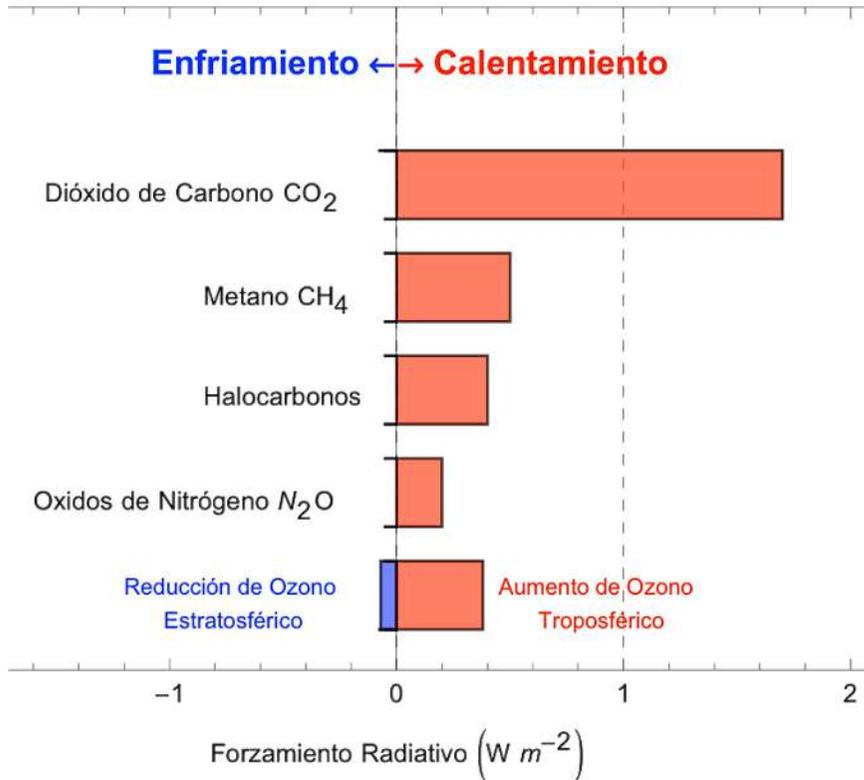


Forzamiento



Los cambios en el “balance radiativo” dependen de los “forzamientos radiativos”; algunos son “positivos” (es decir, calientan la Tierra) mientras que otros son “negativos” (es decir, enfrían el planeta). Como el Ozono es un gas de efecto invernadero, el aumento de Ozono en la tropósfera constituye un forzamiento “positivo”, mientras que la Depleción del Ozono estratosférico constituye un pequeño forzamiento “negativo”.

Cambios debidos a cambios antropogénicos en gases de efecto invernadero entre 1750 y 2005



¿Es la Depleción de la Capa de Ozono la principal causa del Cambio Climático?

No, la Depleción de la Capa de Ozono no es la principal causa del Cambio Climático. Sin embargo, ambos fenómenos están indirectamente relacionados debido a que el Ozono es un “gas de efecto invernadero”.

Los “gases de efecto invernadero” absorben radiación y determinan el “balance radiativo” del planeta (es decir, determinan la cantidad de energía absorbida). Entre los “gases de efecto invernadero” destacan el vapor de agua, el Dióxido de Carbono, el Metano, los halocarbonos (entre los que se encuentran las “Sustancias Destructoras de Ozono”), y el Ozono.

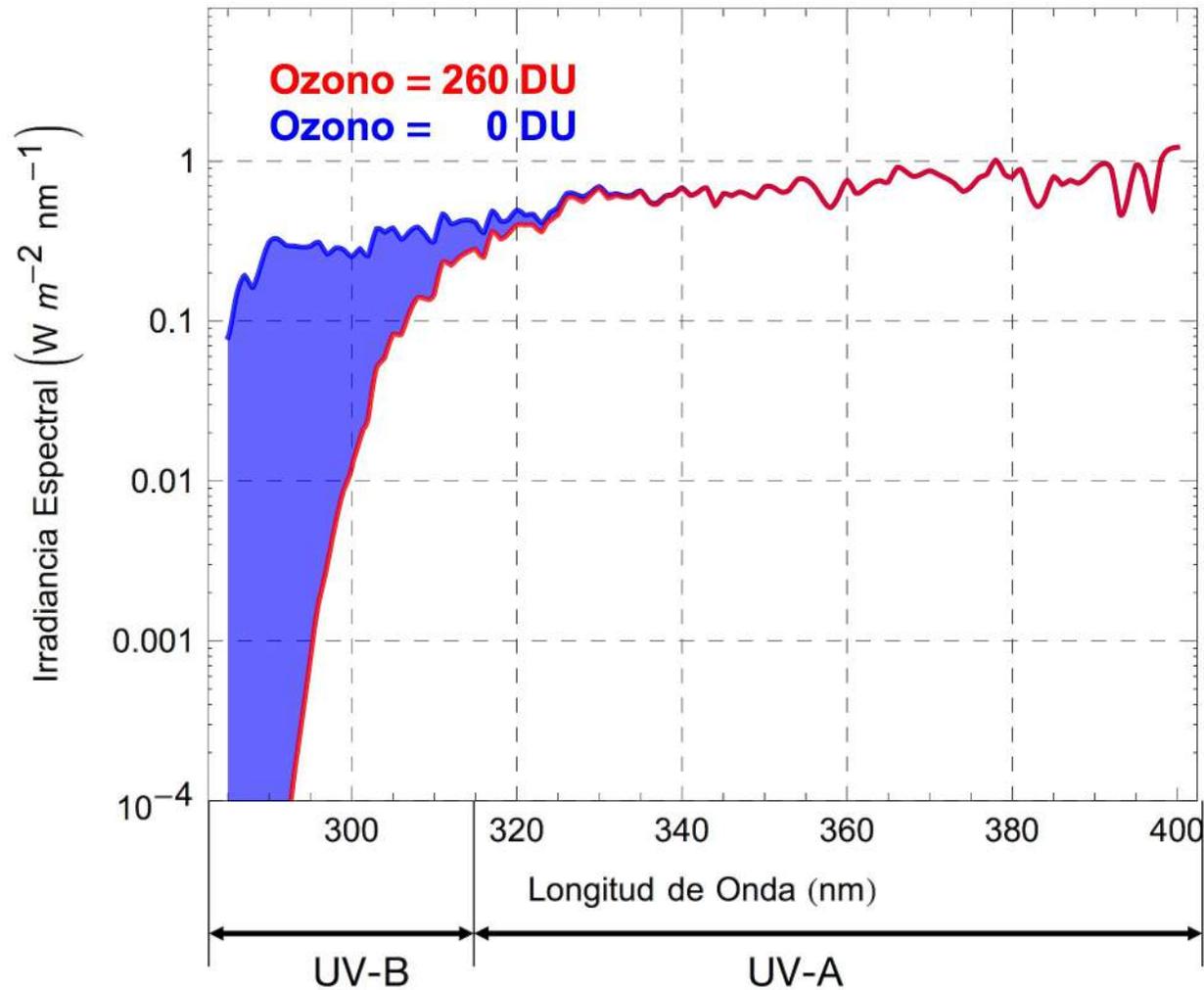
El Cambio Climático es resultado de alteraciones en la concentración de “gases de efecto invernadero” en la atmósfera, a las que han contribuido de manera decisiva actividades humanas. Aunque cambios antropogénicos en las concentraciones de Ozono (aumentos en la tropósfera y disminuciones en la estratósfera) contribuyen a alterar el clima, no son el principal agente del Cambio Climático.

Emisiones de gases (como por ejemplo el Dióxido de Carbono) resultantes del consumo de combustibles fósiles son los principales causantes del Cambio Climático. Estas emisiones han alterado significativamente el “balance radiativo” del planeta que absorbe hoy más energía del Sol que antes de la era industrial.





Pista anexa al campamento Glaciar Unión (79°46'S - 82°52'O) fotografiada en Noviembre del 2012.



El efecto del Ozono resulta evidente al comparar la curva Roja (que muestra la radiación solar UV medida cuando la Columna Total de Ozono era 260 DU), y la curva Azul (que muestra la radiación UV que hipotéticamente alcanzaría la superficie asumiendo una concentración nula de Ozono en la atmósfera). La zona sombreada representa el efecto del Ozono en la radiación UV.

¿Qué es la UV?

La mayoría de fuentes de luz (incluido el Sol) emiten diversos tipos de luz, es decir, radiación de distintas longitudes de onda. La mayoría de los humanos podemos ver la luz en el rango de longitudes de onda que va desde los 400 nm (correspondiente al color violeta) hasta los 700 nm (correspondiente al color rojo).

La radiación ultravioleta (UV) corresponde a luz no visible cuya longitud de onda está entre los 100 nm y los 400 nm. El nombre hace referencia a que las frecuencias de estas radiaciones son mayores (o “ultra”) a las del color violeta. Dentro del rango UV se distinguen 3 sub-rangos:

UV-C 100-280 nm
UV-B 280-315 nm
UV-A 315-400 nm

La UV emitida por el Sol puede tener efectos nocivos para la biósfera (y para la salud humana). Afortunadamente, el Ozono estratosférico absorbe totalmente la radiación UV-C (la más peligrosa) y reduce significativamente la intensidad de la radiación UV-B y UV-A, haciendo posible la vida en la superficie del planeta.

Radiación Directa y Difusa

Los gases en la atmósfera atenúan la radiación solar mediante dos procesos: absorción y dispersión. Algunas moléculas absorben radiación (como por ejemplo el Ozono que absorbe parcialmente la radiación UV). Otras moléculas atmosféricas dispersan la radiación.

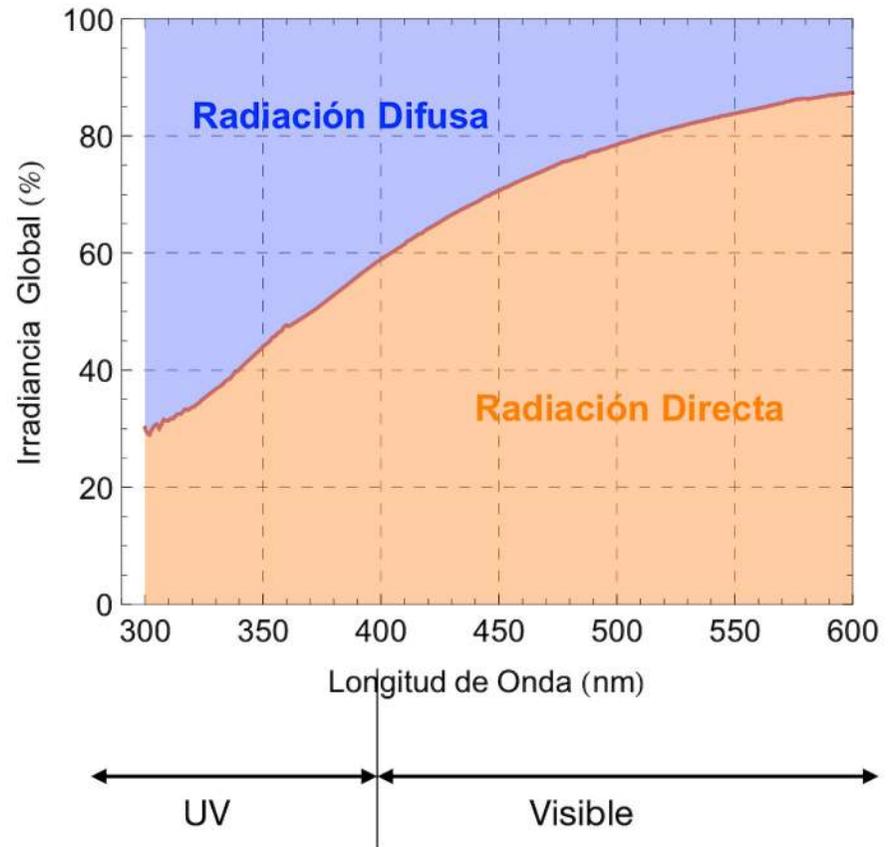
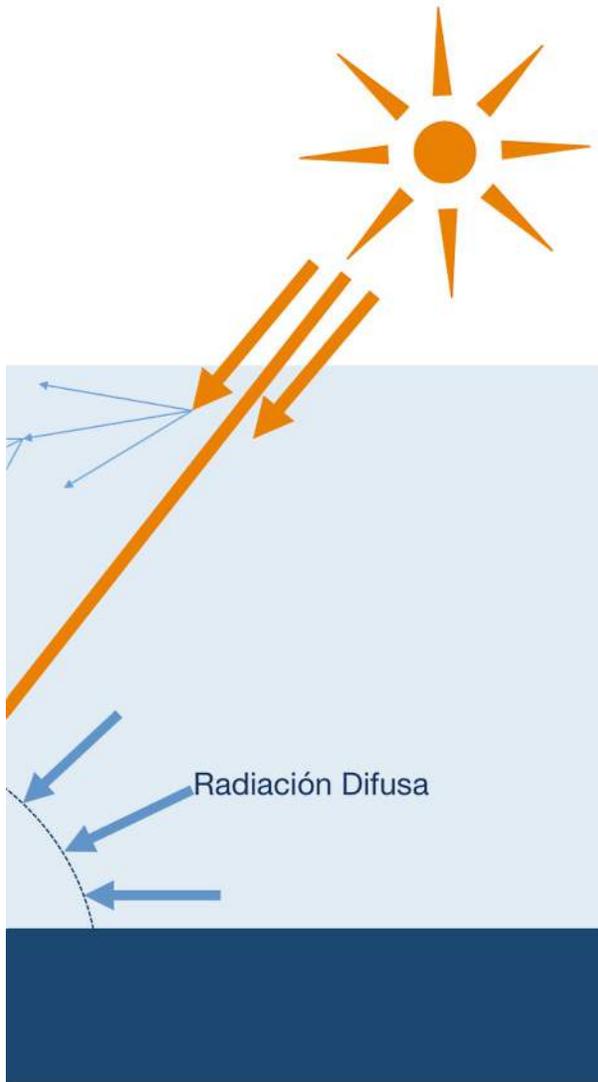
Parte de la radiación es dispersada de vuelta hacia el espacio (ésta se conoce como radiación retrodispersada) mientras que otra parte logra llegar a la superficie después de experimentar múltiples y sucesivas dispersiones. La radiación dispersada que alcanza la superficie se conoce como radiación difusa.

La “radiación global” es la suma de la radiación difusa y de la radiación directa que alcanza la superficie (ver figura adjunta).

La atmósfera terrestre dispersa preferentemente las longitudes de onda más cortas (como las correspondientes al color azul y a la radiación UV). Esto explica por qué la atmósfera se ve azul desde la superficie y desde el espacio.

Debido a la dispersión preferente de longitudes de onda relativamente cortas, la mayoría de la radiación UV-B que alcanza la superficie es difusa.





Alrededor del 70% de la radiación UV-B que alcanza la superficie es difusa.

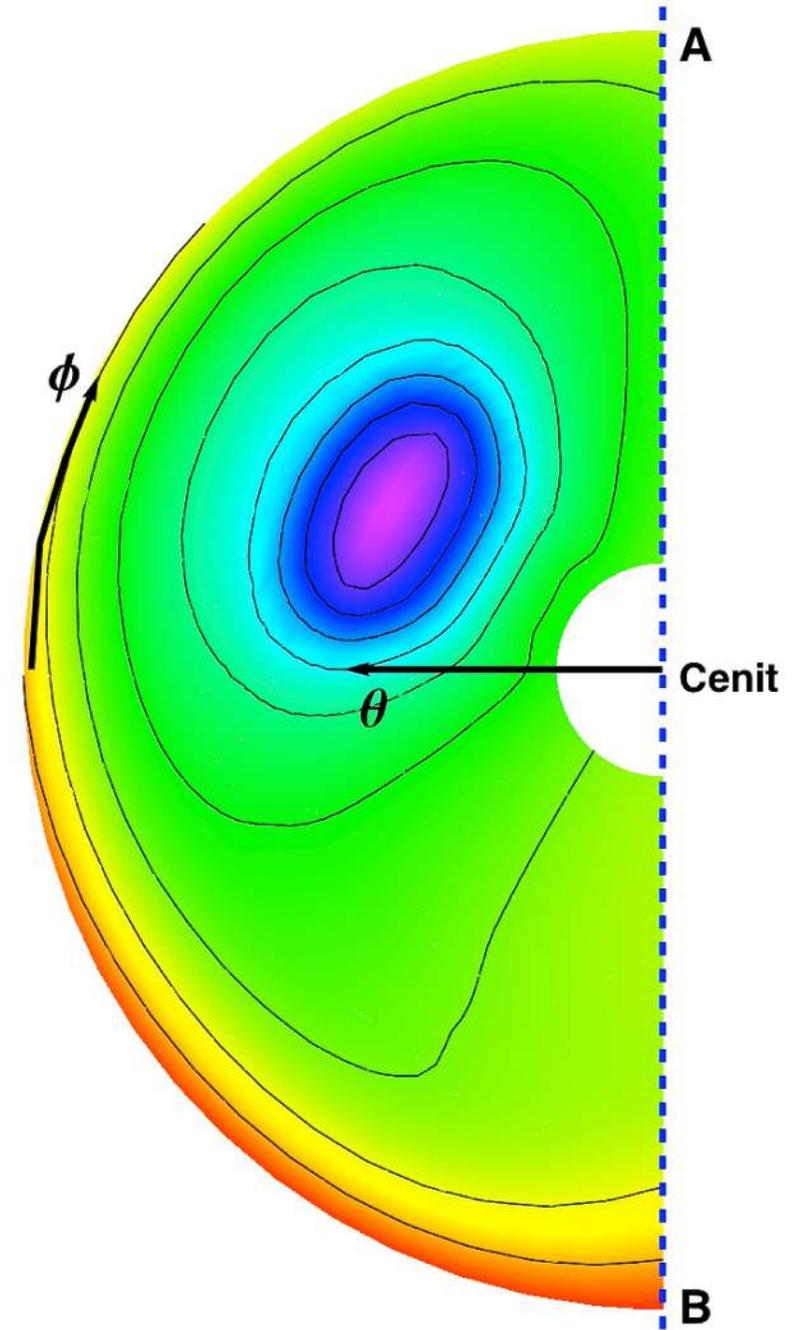
Distribución Angular

Como la mayoría de la radiación UV-B es difusa, ponerse bajo la sombra (es decir, no exponerse a la radiación directa) no basta para protegerse completamente de la radiación UV-B.

Pero, ¿desde dónde llega más radiación difusa? ¿desde el horizonte? ¿desde el cenit?. Contestar a estas preguntas requiere mediciones de la intensidad de la radiación proveniente de distintas direcciones (es decir, requiere medir la radiancia). Como un ejemplo, la figura adjunta muestra los resultados de mediciones de la radiancia proveniente de distintas direcciones en el cielo. La dirección en el cielo se indica en coordenadas esféricas.

La escala de colores indica la intensidad: el tono violeta indica altas intensidades (que en la figura corresponden a direcciones cercanas a la del Sol); los colores rojos y amarillos indican bajas intensidades (que en este caso se detectaron al observar el horizonte).

Aunque la distribución angular de la radiación cambia con la longitud de onda y la nubosidad, mediciones de este tipo han demostrado que la radiación difusa UV-B tiende a ser isotrópica (es decir, es igual de intensa desde todas direcciones).



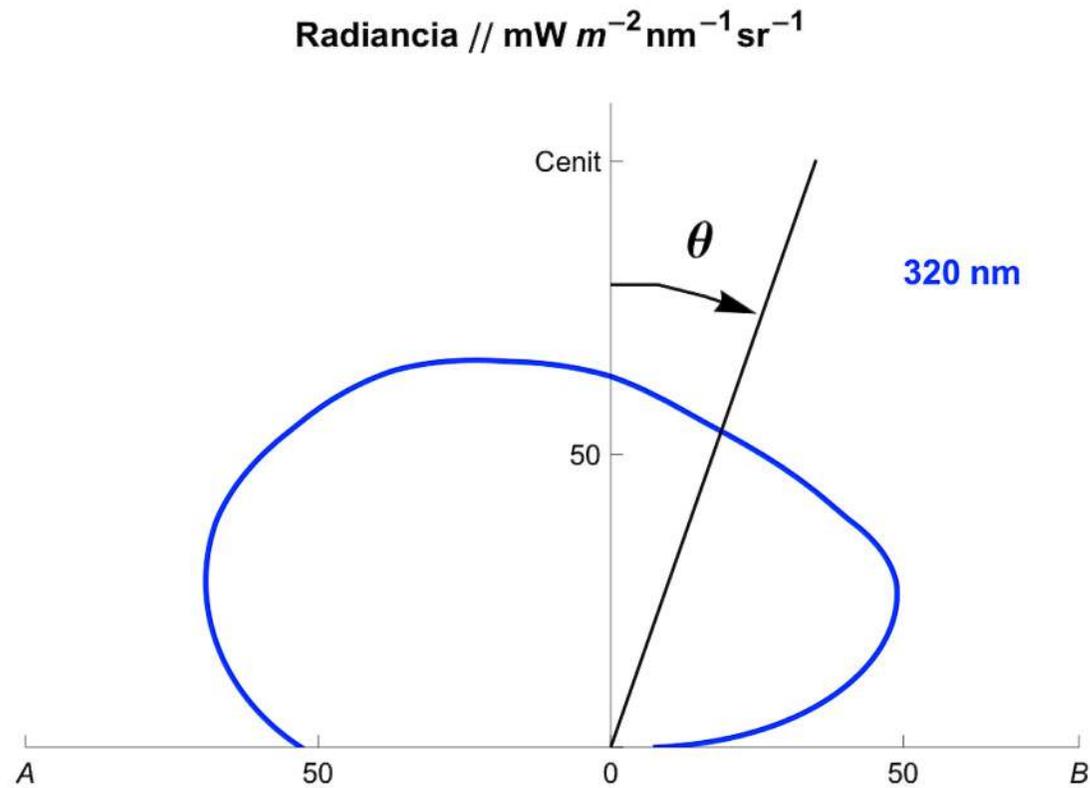
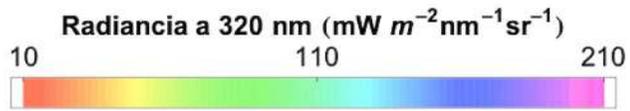


Figura a la Izquierda: Distribución de la radiación difusa a 320 nm de longitud de onda. Solamente se midió en la mitad del hemisferio.
 Figura a la Derecha: Distribución de la radiación difusa a 320 nm de longitud de onda en el plano "A-Cenit-B" indicado en la figura anterior. Si la radiación difusa fuese perfectamente isotrópica, esta figura mostraría un semi-círculo.

¿Por qué es Peligrosa la UV?

Dosis altas de radiación UV producen efectos dañinos en la biósfera y también en la salud humana siendo el cáncer de piel uno de los más severos. La dosis de radiación es directamente proporcional a la intensidad y al tiempo de exposición.

La exposición a altas dosis de radiación UV produce en la piel de los mamíferos respuestas biológicas y alteraciones, como daño en el ADN, quemaduras de las células, y foto-envejecimiento. En humanos en particular, dosis altas de radiación UV producen daños oculares y aumentan el riesgo de padecer cataratas. Los efectos más dañinos están asociados a las longitudes de onda más cortas. Es decir, la UV-B es más peligrosa que la UV-A.

Los peligros asociados a la radiación solar UV hacen necesario su monitoreo continuo. Los instrumentos para medir UV (como los de la fotografía) se denominan radiómetros. En Chile, la Dirección Meteorológica de Chile (www.meteochile.cl) cuenta con una red de radiómetros distribuidos por todo el país.





Campaña de Intercomparación de Radiómetros UV en la Universidad de Santiago de Chile en Noviembre del 2013 (Cordero et al., Metrologia 50 L1-L5, 2013)

¿Qué es el Índice UV?

Es una medida adimensional de la intensidad de la radiación global UV que alcanza una superficie horizontal. Su cálculo requiere inicialmente medir el espectro (es decir, la intensidad de la radiación solar a distintas longitudes de onda), y luego sumar esos resultados asignándoles un peso relativo distinto.

Por convención, se asigna mayor peso a las longitudes de onda que tienen efectos más nocivos (como la UV-B) y menor peso a las longitudes de onda que son menos peligrosas (como la UV-A).

Debido a que los efectos dañinos de la UV dependen de la dosis recibida, la exposición a altas intensidades solares (es decir, la exposición cuando el Índice UV es alto) produce efectos dañinos con menos tiempo de exposición.

Aunque el Índice UV varía durante el día, el valor máximo diario (alcanzado generalmente al medio día) se considera un indicador de riesgo. La Organización Mundial de la Salud considera que la exposición prolongada al Sol, en días en que el Índice UV supera el valor 11, representa un riesgo extremo para la salud humana (ver tabla adjunta).

Riesgo	
Bajo	
Moderado	
Alto	
Muy Alto	
Extremo	

Rango Índice UV	Recomendaciones
<2	No se requiere protección
Entre 3 y 5	Use bloqueador solar
Entre 6 y 7	Use bloqueador con alto grado de protección
Entre 8 y 10	Evite la radiación directa; prefiera la sombra
>11	Evite actividades al aire libre cerca del medio día

¿Qué Factores determinan el Índice UV?

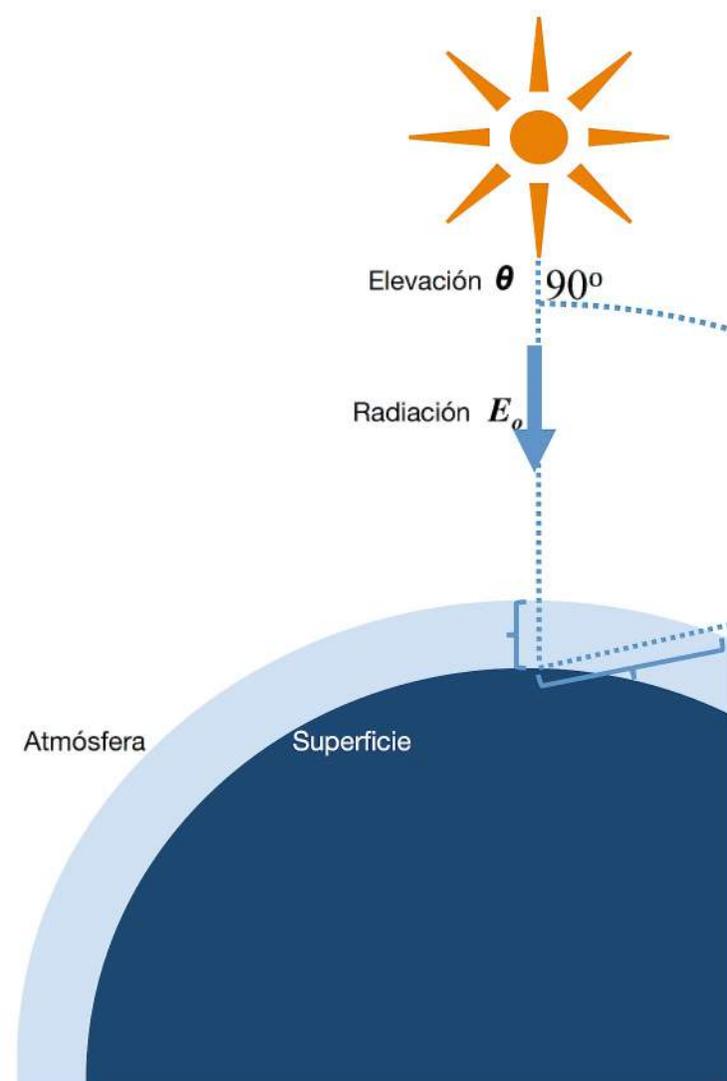
Aunque el Sol emite radiación cuasi-constante, el Índice UV en la superficie varía con la abundancia de Ozono, con la elevación del Sol, con la carga de aerosoles, con la nubosidad, con la reflectividad de la superficie (es decir, con el albedo), y con la altitud.

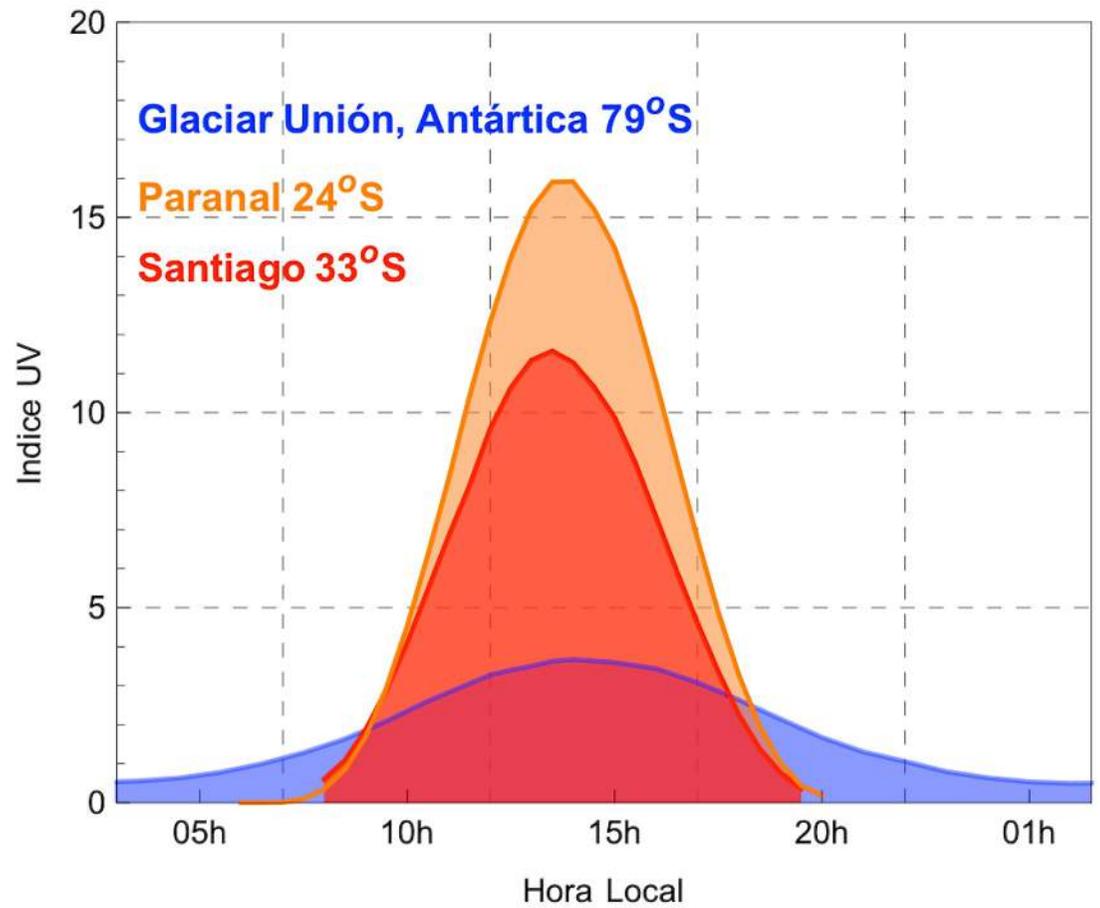
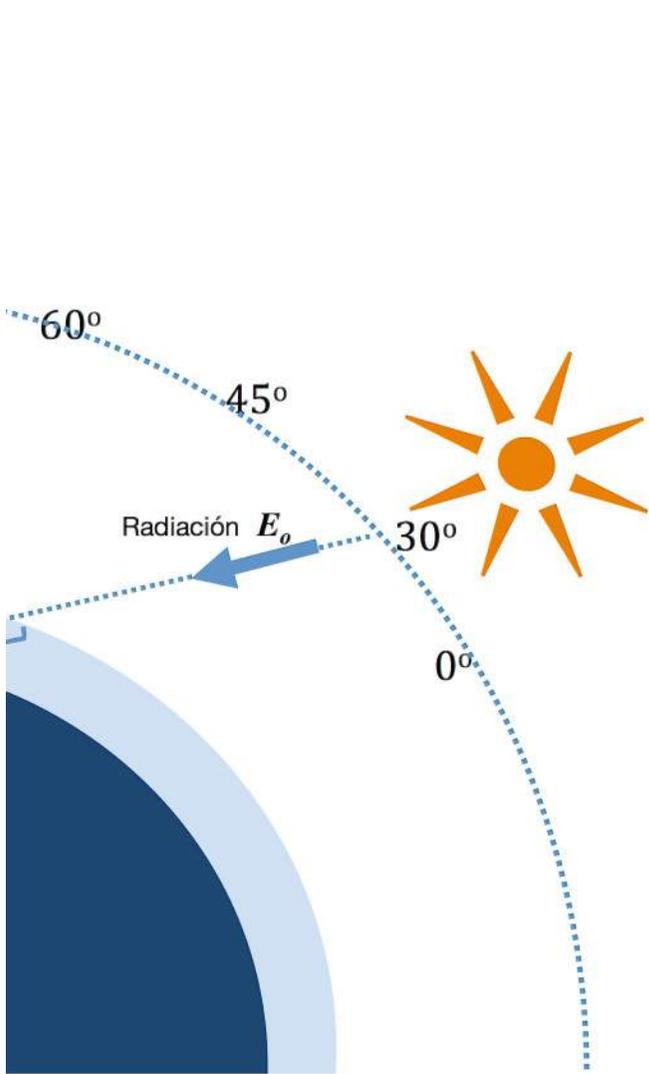
Elevación del Sol

La elevación solar es el ángulo entre el horizonte y la dirección del Sol. Cuando se tienen elevaciones altas (al medio día) la radiación UV que llega a la superficie es más intensa debido a que los rayos solares atraviesan un camino más corto a través de la atmósfera (pasando por una menor cantidad de absorbentes y dispersores). En la mañana o en la tarde, se tienen elevaciones solares menores, caminos más largos para los rayos solares a través de la atmósfera, y por tanto la radiación que llega a la superficie es menos intensa.

La elevación solar cambia durante el día, pero también durante el año. La elevación del Sol es mayor al medio día en verano que al medio día en invierno. Eso explica porqué los Índices UV en verano son mayores que aquellos a la misma hora en invierno.

La diferencia entre las elevaciones solares también explica porqué en latitudes semi-tropicales (Paranal por ejemplo) la radiación solar al medio día es más intensa que en latitudes medias (Santiago por ejemplo) o que en latitudes altas (la Antártica por ejemplo).





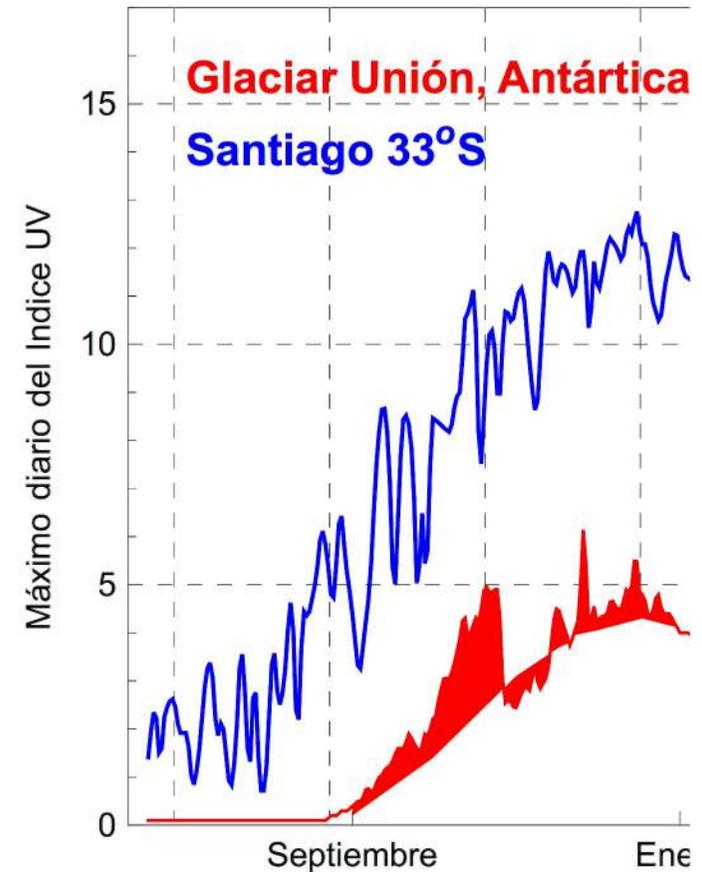
La figura de la derecha muestra el Índice UV medido con cielo despejado durante días de verano en 3 locaciones distintas. Las diferentes elevaciones solares explican la mayor parte de las diferencias. En latitudes próximas al Ecuador (Paranal por ejemplo) el Sol alcanza una elevación cercana a los 90 grados al medio día, mientras que en latitudes polares (Glaciar Unión por ejemplo), la máxima elevación solar en verano es poco más de 30 grados.

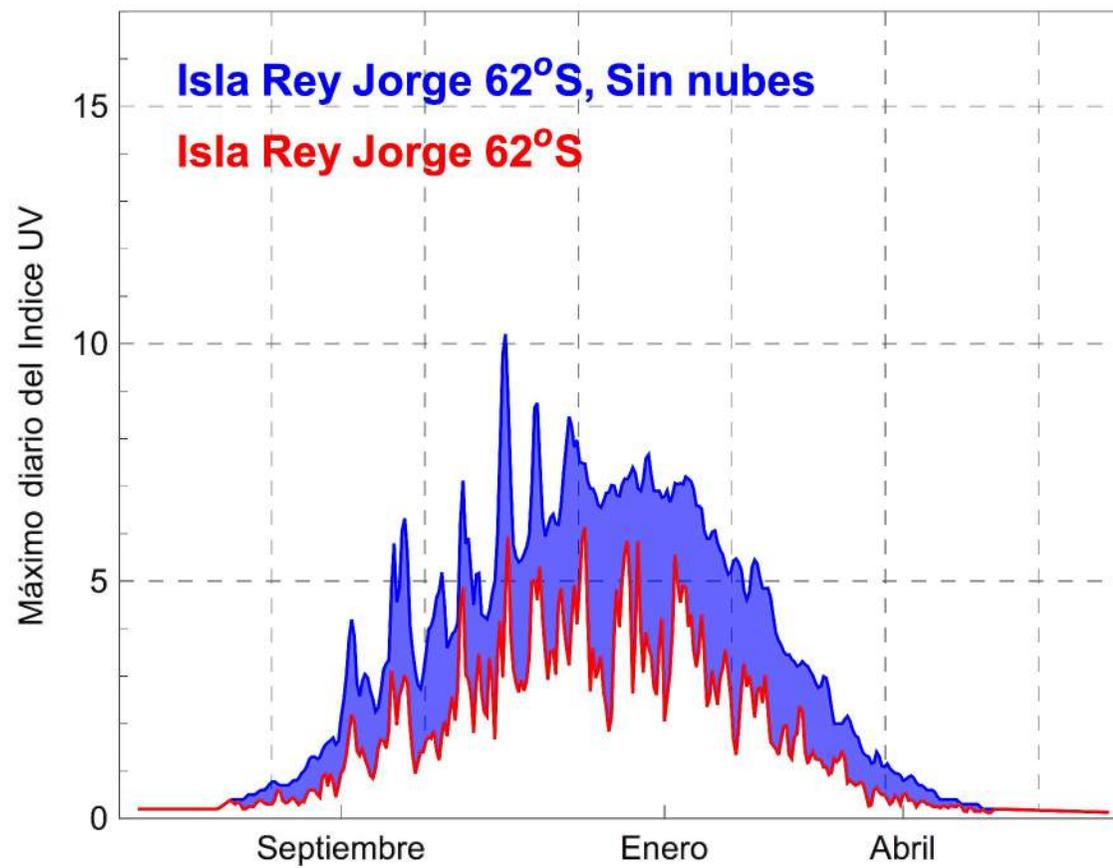
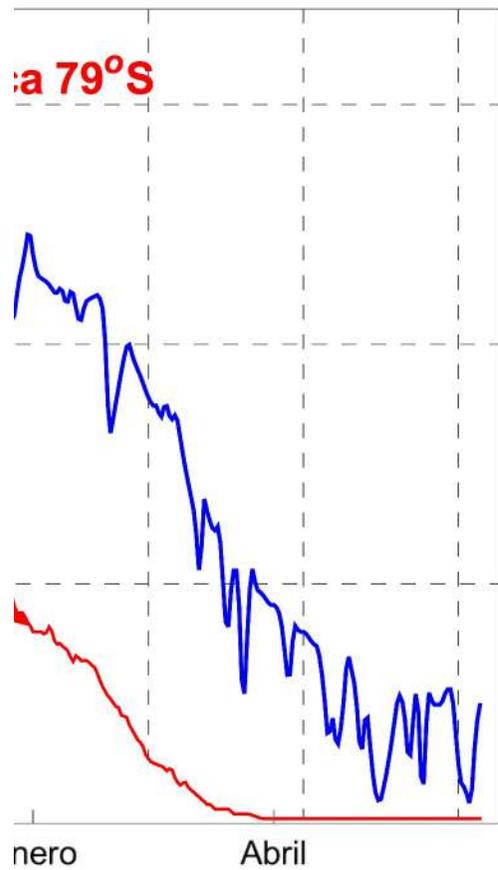
Aerosoles, Nubes

La presencia de gases y partículas en la atmósfera también afecta al Índice UV. Los aerosoles (contaminantes o polvo) atenúan la radiación solar en porcentajes que alcanzan el 20% en ciudades con gran carga de contaminantes (como Santiago de Chile).

En general la nubosidad atenúa la radiación solar y aumenta su variabilidad. Por ejemplo, la figura adjunta muestra el Índice UV medido diariamente al medio día en Santiago durante un año (ver curva azul). Las variaciones entre días consecutivos que se observan en el Índice UV en Santiago son en buena medida resultado de cambios en la nubosidad. Para efectos de comparación, los datos correspondientes a Santiago se muestran junto a los de Glaciar Unión (ver curva roja), localidad antártica que en general está despejada pero que es afectada por el Agujero estacional en la Capa de Ozono. La zona sombreada representa el efecto del Agujero.

La figura del extremo derecho permite comparar el efecto del Ozono y de la Nubosidad en la Isla Rey Jorge (ubicada en la Península Antártica). Aunque en esta zona aun se perciben los efectos en la UV del Agujero en la Capa de Ozono, la influencia de las nubes es aun mayor. En esta figura se muestran tanto el Índice UV medido diariamente al medio día (ver curva roja), como el Índice UV hipotético computado asumiendo que no había nubes (ver curva azul). La zona sombreada representa el efecto de las nubes. Las nubes en la Península Antártica son muy frecuentes y la atenuación que producen (incluso superior al 80%) es también mayor que la registrada en otras latitudes.







Radiómetro UV de la Universidad de Santiago fotografiado en la Isla Rey Jorge (62°12'S - 58°57'O) en Septiembre del 2013

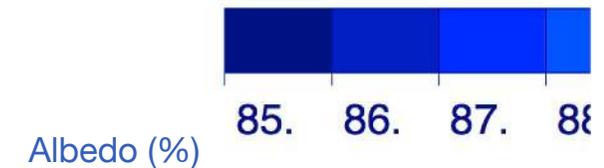
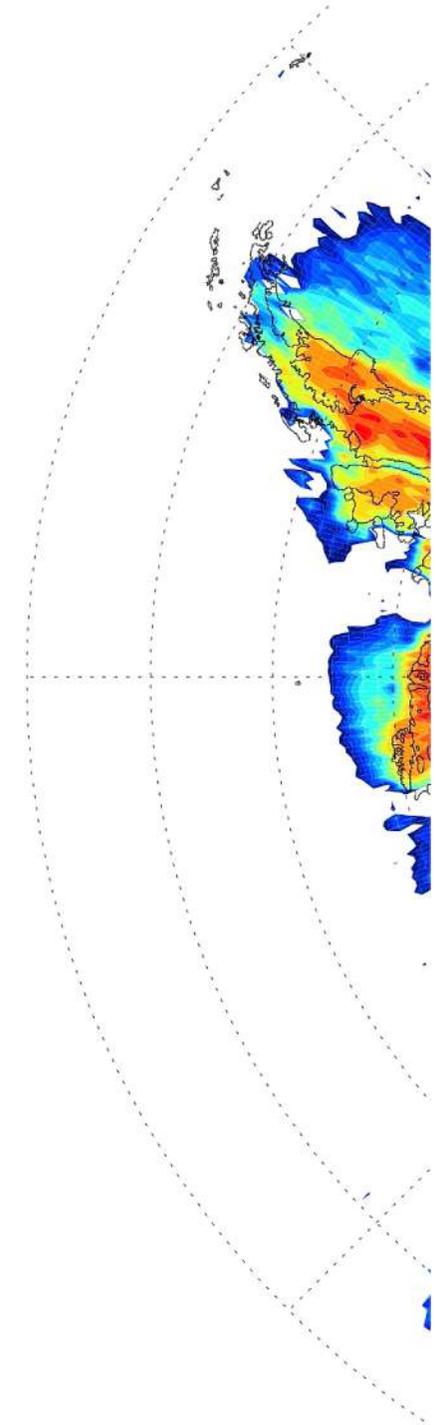


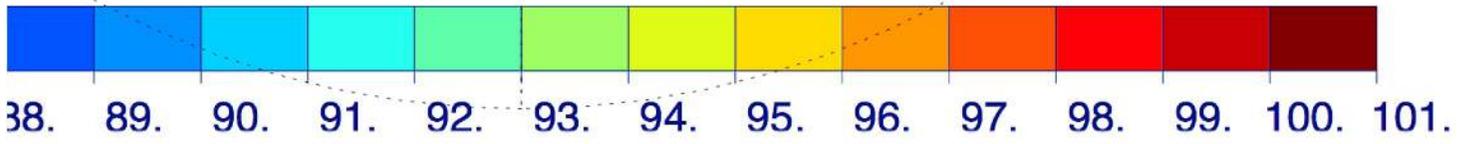
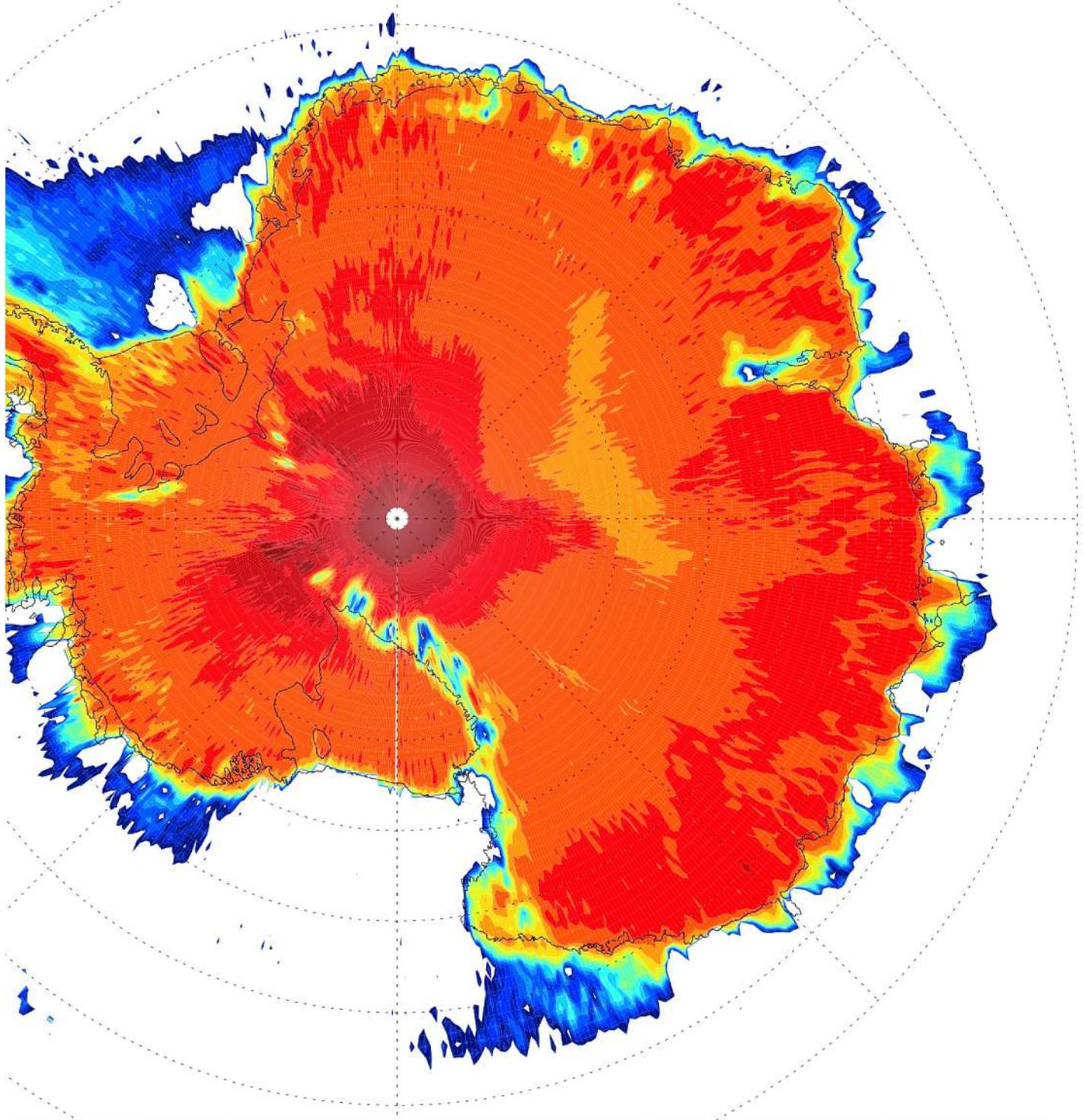
Albedo, Altitud

Superficies de alta reflectividad (abundantes en nieve por ejemplo) pueden provocar aumentos significativos en el Índice UV. La meseta Antártica se caracteriza por un albedo superior al 95% para la radiación UV y la radiación visible (ver figura). Un albedo de 95% significa que ese porcentaje de radiación incidente es reflejada por la superficie de vuelta hacia la atmósfera. El albedo depende de las características de la superficie, las que a su vez pueden cambiar con la temperatura (por ejemplo, el albedo disminuye a medida que la nieve se derrite).

Dispersiones subsecuentes de la radiación reflejada por una superficie de alto albedo aumentan significativamente el Índice UV. En efecto, mediciones en la meseta Antártica indican que el Índice UV local es un 50% mayor al esperado si la zona no estuviese cubierta de nieve.

El Índice UV también depende de la altitud. Cuando inciden en locaciones a gran altitud, los rayos solares recorren un camino más corto a través de la atmósfera (pasando por una menor cantidad de absorbentes y dispersores). En términos generales la intensidad de la radiación UV aumenta con la altitud entre un 5% y un 10% por km.



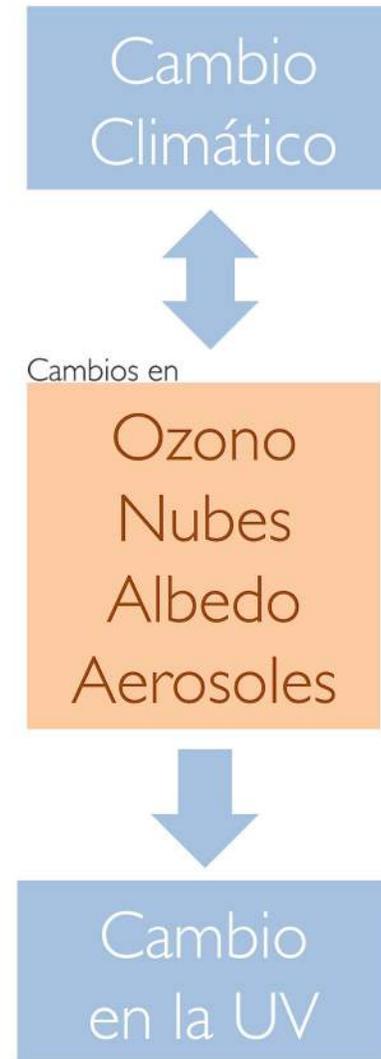


Cambio Climático

El Índice UV (es decir, la intensidad de la radiación UV) depende de parámetros que podrían variar como consecuencia del Cambio Climático: Ozono, nubes, albedo y aerosoles.

En efecto, aun en el escenario de una recuperación de la Capa de Ozono, la radiación UV podría experimentar variaciones inesperadas como consecuencia de cambios en la nubosidad o en la concentración de los aerosoles. Cambios en el albedo (como los que se han observado al derretirse las placas de hielo del Artico) también podrían afectar la radiación UV.

La detección de los efectos del Cambio Climático en la radiación UV requiere su monitoreo continuo (tanto satelital como en superficie). En particular, las variaciones esperadas en la Antártica como consecuencia del Cambio Climático (tanto en el albedo como en el Ozono) asignan un enorme valor científico a las mediciones de radiación UV en la zona.





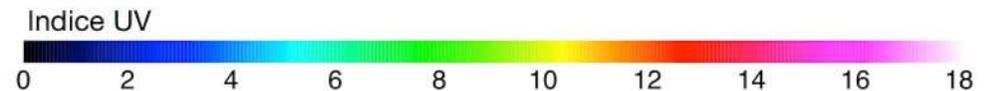
Plataforma Transportable de Investigación Antártica (TARP, por sus siglas en inglés) desplegada por la Universidad de Santiago en la Isla Rey Jorge ($62^{\circ}12'S$ - $58^{\circ}57'O$) en Marzo del 2013 .

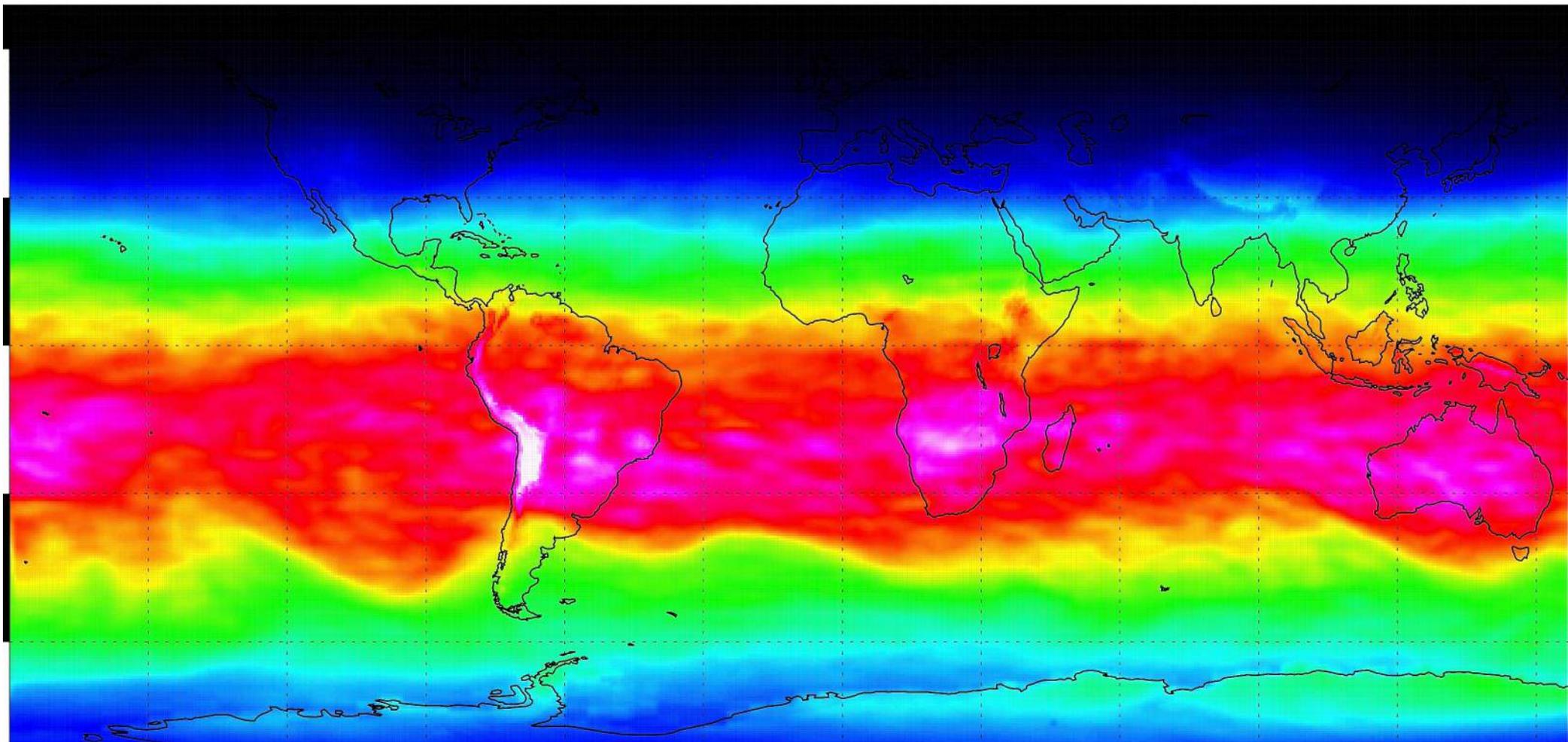
¿Cuáles son los Índices UV alrededor del mundo?

Aunque los máximos valores diarios del Índice UV varían a lo largo del año en todo el mundo, estimaciones satelitales (como las de la figura) y mediciones en terreno muestran consistentemente que los mayores Índices UV en el planeta se registran en el extremo norte de Chile durante el verano austral.

El extremo norte de Chile es una zona semi-tropical (en la que el Sol alcanza elevaciones cercanas a los 90 grados al medio día), que además se caracteriza por su baja nubosidad, relativa baja concentración de Ozono (en comparación con locaciones en el Hemisferio Norte), y gran altitud (en el caso de zonas cordilleranas).

Note que la Antártica no es una zona en la que se registren Índices UV extremos. Lo anterior es consecuencia de las bajas elevaciones que el Sol alcanza en latitudes polares. Aunque se producen aumentos relativos significativos cuando se registra el agujero estacional en la Capa de Ozono, los Índices UV en la Antártica no son comparables con los que se registran en latitudes medias o tropicales.





Estimaciones satelitales del Índice UV correspondientes al 4 de Enero del 2014 (www.temis.nl/uvradiation/UVindex.html)

Los máximos Índices UV en la Tierra

Índices UV mayores a 20 fueron medidos por un equipo de la Universidad de Santiago en Enero del 2013 en la meseta de Chajnantor (localizada a 5100 m de altura en el desierto de Atacama, 50 km al este de San Pedro de Atacama, 23°00'S - 67°45'O). Estos son los valores máximos jamás medidos bajo condiciones controladas.





Antena del Atacama Pathfinder Experiment (APEX, www.eso.org) fotografiada en la meseta de Chajnantor en Enero del 2013 .

Ozono y Radiación UV

Respuestas a las Preguntas Claves

El autor principal, el Dr. Raúl R. Cordero, es co-autor del capítulo 2 del “WMO/UNEP Ozone Assessment 2010”, publicación de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en Inglés), que cada cuatro años informa sobre los avances en la aplicación del Protocolo de Montreal y el estado de la Capa de Ozono. Personal liderado por el Dr. Cordero realizó las mediciones en tierra utilizadas en algunas ilustraciones.

El segundo autor, el Dr. Alessandro Damiani, procesó los datos satelitales que fueron obtenidos a partir de lecturas de los instrumentos OMI y TEMIS. Los otros autores, el Dr. David Laroze, el Dr. Fernando Labbé, y los investigadores Sarah Feron y Luis Da Silva, realizaron aportes significativos a los textos e ilustraciones. Las fotografías fueron tomadas por Juan Rayas, Mario Tobar y José Jorquera, miembros del grupo liderado por el autor principal durante campañas de medición en terreno. Finalmente, profesionales de la Licenciatura en Educación de Física y Matemáticas de la Universidad de Santiago, colaboraron en la edición de la versión final.

Ilustraciones con los mapas de Ozono (incluida la portada) fueron obtenidas directamente de la NASA. Créditos: “NASA Ozone Watch” (<http://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/>).

Esta publicación tiene fines educativos. Aunque alentamos su uso y reproducción parcial o total, sugerimos citar la fuente. Para más información, visite: www.antarctica.cl.