

Mayo 2023  
vol. 05

**BOLETÍN MENSUAL  
VIGILANCIA DEL OZONO  
ATMOSFÉRICO EN EL  
OBSERVATORIO DE  
VIGILANCIA ATMOSFÉRICA  
MARCAPOMACOCHA**



# Introducción

La luz solar es energía radiante electromagnética, compuesta principalmente por el espectro de radiación ultravioleta, visible e infrarroja. La radiación ultravioleta tiene una longitud de onda más corta que la luz visible y puede producir quemaduras en la piel y otros efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente.

Afortunadamente para la vida en la tierra, existe la capa de ozono, como se conoce a la concentración máxima de ozono presente en la atmósfera superior (estratosfera) de manera natural. La capa de ozono filtra la mayor parte de la radiación ultravioleta proveniente del sol, especialmente la radiación ultravioleta B, dejando pasar la radiación ultravioleta A, necesarios para la vida en la tierra.

Lamentablemente, el hombre ha creado algunos productos químicos a base de carbono y halógenos (Cl, Br), conocidos como halocarbonos, que se han usado principalmente para la fabricación de refrigeradores, congeladores, sistemas de aire acondicionado, aerosoles y espumas sintéticas. Estos halocarbonos son sustancias agotadoras de ozono (SAO) y producen la destrucción y adelgazamiento de nuestra capa de ozono, que permite que la radiación ultravioleta B ingrese con mayor intensidad a la tierra y afecten la vida en el planeta.

Debido a estos procesos que ocurren en la atmósfera el Perú, como país miembro del Protocolo de Montreal, viene reduciendo poco a poco el consumo de los productos químicos que destruyen la capa de ozono y además por intermedio del SENAMHI viene monitoreando el estado de la capa de ozono en la región central del país con la finalidad de alertar a la comunidad científica nacional e internacional sobre su variabilidad temporal y posible deterioro así como su relación con los cambios climáticos que se vienen registrando en el mundo.

## ANTECEDENTES

El SENAMHI cuenta con el Observatorio de Vigilancia Atmosférica (OVA) Marcapomacocha, ubicada en la sierra central del país (provincia de Yauli y departamento de Junín), asimismo, se encuentra a una altitud de 4,479 metros sobre el nivel del mar, a una latitud de 11°24'18"S y longitud de 76°19'31"O. Es una de las pocas estaciones a nivel mundial cercanas a la línea ecuatorial y en un medio natural megadiverso. A nivel sudamericano conjuntamente con las estaciones VAG de Natal (Brasil) y Chacaltaya (Bolivia) son las que reportan información continua de las propiedades físicas y químicas de la atmósfera en esta parte del continente.

Las actividades del OVA Marcapomacocha se enmarcan en las mediciones de la concentración de ozono total atmosférico en forma diaria realizadas con el Espectrofotómetro Dobson el cual contribuye con el Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global - VAG de la Organización Meteorológica Mundial - OMM. Otras variables como la radiación ultravioleta, radiación solar global y parámetros meteorológicos también se vienen midiendo en dicho observatorio.

Con las mediciones realizadas desde 1964 en el Perú, se ha podido conocer el estado y evolución del espesor de la capa de ozono sobre el territorio peruano y en general sobre la porción de la atmósfera tropical sobre el continente sudamericano.

En el futuro el OVA Marcapomacocha también podrá realizar mediciones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (gas de efecto invernadero) y carbono negro (hollín).



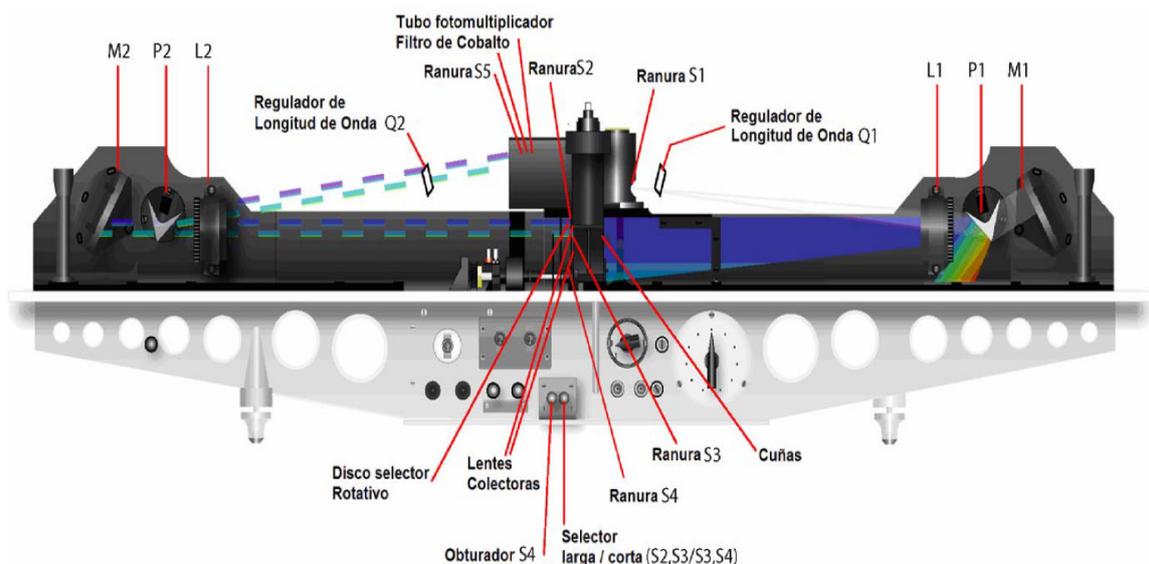
# I.- CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

## 1.- MEDICION EN SUPERFICIE

El instrumento que permite medir las concentraciones de ozono total atmosférico se denomina Espectrofotómetro Dobson. Aunque las mediciones se realizan en forma indirecta porque lo que se mide son las intensidades relativas, de un par de longitudes de ondas (LDO), seleccionadas de antemano, siendo estas generadas y emanadas por el Sol o simplemente por el Zenith del cielo.

Su funcionamiento se basa en que la luz ingresa al instrumento a través de una ventana que se encuentra en la parte superior del mismo y después de su reflexión en un prisma incide en una ranura S1 (Figura 1) la cual consiste en un lente de cuarzo que hace que la luz sea paralela, un prisma que descompone la luz y un espejo que refleja la luz haciéndola volver al prisma y las lentes de tal manera que forma un espectro en el plano focal del instrumento. Las longitudes de onda que están involucradas se aíslan por medio de las ranuras S2, S3 y S4.

**FIGURA N° 1**  
Funcionamiento del Espectrofotómetro Dobson



---

En la base o parte inferior del espectrofotómetro se encuentran dos palancas de obturación. La palanca S4 que se encuentra a la izquierda, se utiliza solamente cuando se realizan las pruebas, test o calibraciones al espectrofotómetro y deben ser introducidas en el instrumento, cuando se realicen las mediciones de ozono.

La selección de las longitudes de onda A, B, C o D cuando se efectúen las medidas de ozono se logra rotando las palancas a las posiciones Q1 y Q2 de acuerdo a la tabla Q propia del instrumento.

La cuña óptica se encuentra dentro del instrumento frente a la ranura S3. La posición de la cuña óptica se controla a través de un disco graduado que se encuentra en la parte superior del instrumento.

En cualquier posición del disco, la intensidad de la luz que pasa a través de la cuña óptica se reduce, la cual es determinada durante la calibración del instrumento.

Las intensidades relativas de las dos longitudes de onda en las cuales se efectúan las observaciones pueden obtenerse a partir de la lectura de la posición de equilibrio del disco y las tablas de calibración provistas con el instrumento.

## **2.- MEDICION DESDE SATÉLITE**

Uno de los satélites que mide en forma continua la concentración de ozono es el satélite AURA el cual dispone de cuatro instrumentos para la medición de la tropósfera superior, estratósfera y mesósfera. El instrumento de monitoreo de ozono (OMI) continúa los 34 años de observación del ozono que comenzaron con el detector ultravioleta de retrodispersión (Backscatter Ultraviolet Detector, BUV) en 1970 y el espectrómetro de representación de la distribución de ozono total (Total Ozone Mapping Spectrometer, TOMS), en 1978. El OMI mide la luz solar reflejada y retrodispersada en las porciones ultravioleta y visible del espectro. Las capacidades hiperspectrales del instrumento (recopilación y procesamiento de la información a lo largo de todo el espectro electromagnético) mejoran la precisión y exactitud de las cantidades de ozono total.



---

## II.-RESULTADOS.

Cabe mencionar que el mes de mayo ha continuado presentando características térmicas menores al mes pasado, debido a factores de circulación atmosférica en el hemisferio austral, como producto del establecimiento de la estación astronómica de otoño. Los sistemas atmosféricos, a nivel de alta tropósfera, que gobiernan el tiempo sobre nuestro país, como la Alta de Bolivia y la Zona de Convergencia Intertropical, se van desplazando hacia el norte para dar paso a otros sistemas característicos de la temporada. Conviene enfatizar que en región norte del país se han registrado aún procesos convectivos ocasionados principalmente por el sobrecalentamiento del agua de mar afectando también a la costa central. Algunos de estos procesos pueden tener incidencia en las propiedades físicas de la baja estratósfera. Asimismo, se registró la presencia de una DANA incidiendo en las precipitaciones en la región sur.

Un parámetro que conviene resaltar y que influye en el comportamiento del ozono es la denominada Oscilación Quasi Biental (QBO siglas en inglés) el cual domina la variabilidad de la estratósfera ecuatorial (16 - 50 km) y fácilmente puede verse como regímenes de vientos del este y del oeste que se propagan hacia abajo, con un periodo variable que puede estar entre los 28 meses. Su estudio es inseparable de los movimientos de las ondas atmosféricas que lo impulsan y modulan. Los efectos de la QBO no se limitan a la dinámica atmosférica. Los componentes químicos como el ozono, vapor de agua, óxido nitroso, ácido clorhídrico y el metano, se ven afectados por los cambios de circulación inducidos por la QBO (mezcla de ozono estratosférico por la circulación secundaria).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, es importante tener en cuenta que esos regímenes de circulación, así como el establecimiento de la estación de otoño interactúan entre sí en las diferentes capas de la atmósfera. Siendo así, se analiza la capa de 70 hPa dado de que es representativa de la baja estratósfera. En ella se ha podido observar, según el Modelo GFS, que los flujos de aire continúan siendo variables. Si bien es cierto, se han registrado vientos mayormente zonales, también es cierto que en ocasiones se han registrado vientos provenientes del hemisferio norte permitiendo que las concentraciones de ozono medidos no sean tan bajos como los medidos en años anteriores. Los vientos zonales han sido del oeste en gran parte del mes y entre los días 13 y 18 de mayo se observó un sistema anticiclónico que ingresó por la región central de Chile y salió por el lado sur de Brasil (comportamiento de un sistema de alta migratoria). El movimiento de este sistema afectó las concentraciones de ozono sobre nuestro país. A esto hay que agregar que el potencial de reacciones fotoquímicas también empieza a disminuir por efecto de la disminución en la intensidad de la radiación solar. Durante el



---

mes, no se observaron sistemas anticiclónicos persistentes como en fechas anteriores sobre América del Sur, permitiendo que los flujos sean mayormente del oeste. Lo que se observó es más bien flujos quasi meridionales, lo cual no es característico en este mes, permitiendo compensar la deficiencia de ozono atmosférico en esta temporada. Si bien es cierto, las deficiencias de ozono son característicos en este mes, la invasión de estas masas de aire provenientes del norte no permitió que fueran tan intensos. Figura 2.

Con el fin de reforzar lo descrito a nivel de baja estratósfera, podemos mencionar que, de la vigilancia realizada en el mes de mayo a nivel de superficie, en el OVA Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario de la concentración de ozono atmosférico en general, estuvo oscilando entre 236.4 UD y 248.3 UD (UD = Unidades Dobson), valores ligeramente inferiores a lo registrado en el mes anterior.

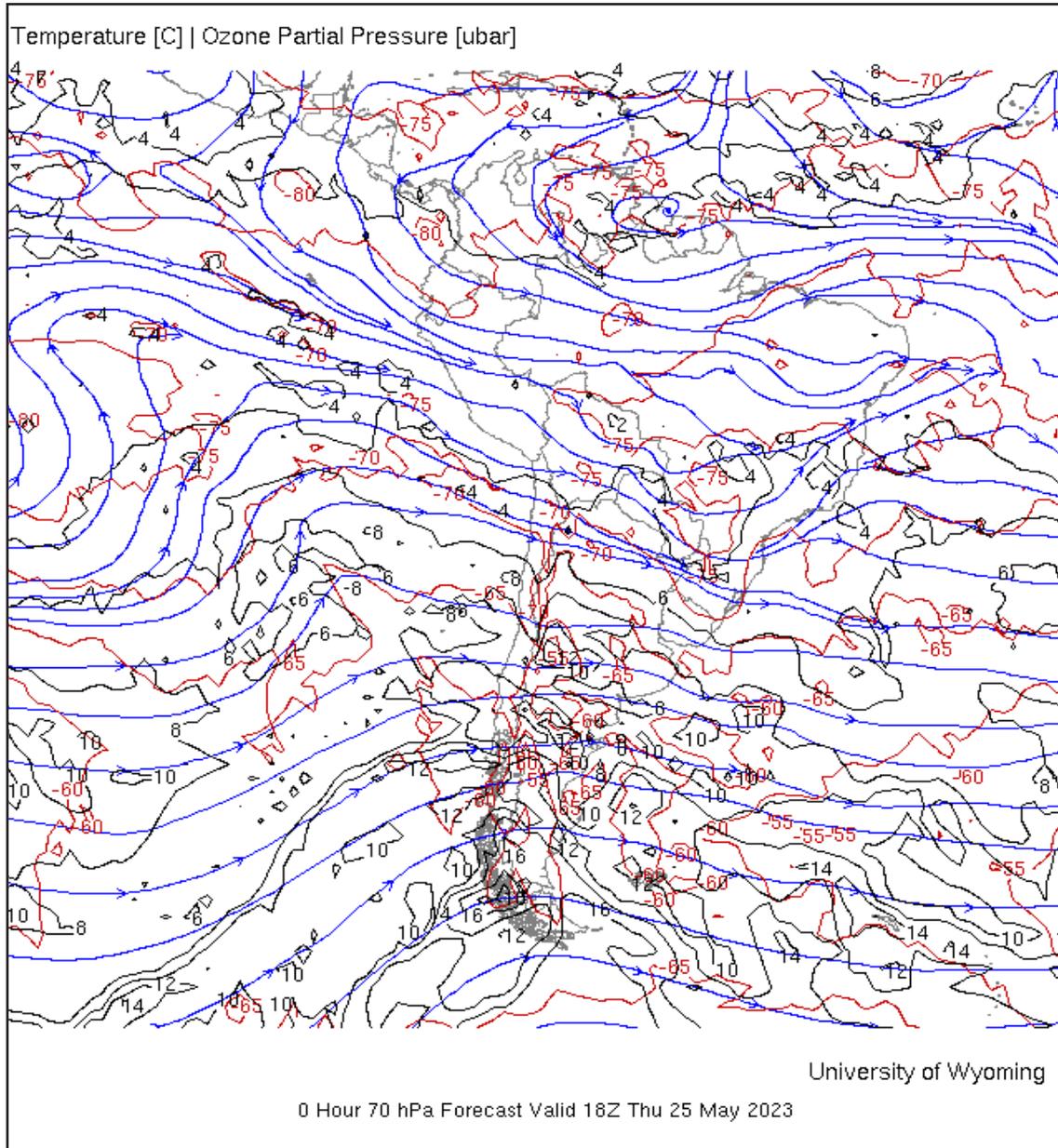
Se debe mencionar que en las primeras horas del día las concentraciones de ozono son relativamente altas debido a la nula actividad fotoquímica durante la noche y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía los valores empiezan a disminuir para luego en horas de la tarde volver a incrementarse. A veces el comportamiento es algo variable tanto en la mañana como en la tarde, pero siempre con la misma tendencia (disminuye y luego aumenta).

Este proceso físico, se enmarca en que durante las mañanas la incidencia de la radiación ultravioleta es baja, por ende las concentraciones de ozono son relativamente altas (debido al ozono residual), a medida que la intensidad de la radiación ultravioleta se incrementa en forma paulatina hacia el mediodía, donde los valores son altos (en los meses de primavera y verano son mayores), permite una reducción del ozono y en horas de la tarde a medida que el sol va llegando al ocaso (disminución de la intensidad de la radiación solar) las concentraciones de ozono vuelven a incrementarse. Este comportamiento horario también va a depender de otros factores como los ambientales (efectos residuales de ozono del día anterior a nivel de tropósfera) y meteorológicos (transporte de ozono de y hacia otras latitudes). Un punto importante a remarcar es el proceso de formación y destrucción del ozono por efectos fotoquímicos, mientras que la intensidad de la radiación solar se incrementa, dicha actividad será mayor y viceversa. En el periodo analizado, la intensidad de la radiación ultravioleta ha continuado registrando una disminución en forma ligera con respecto al mes anterior, en ese sentido las reacciones fotoquímicas han sido menores al mes anterior con una tendencia a continuar disminuyendo permitiendo que las concentraciones de ozono también lo hagan (por lo menos hasta el mes siguiente).



**FIGURA N° 2**

**Flujos de masas de aire variables**



Por otro lado, el comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2020) del mes de mayo oscila entre 238.2 UD y 247.0 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de mayo del presente año, oscilaron entre 237.2 UD y 244.7 UD. En la figura se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 61% por encima de sus valores climáticos y el otro 32%, por debajo.

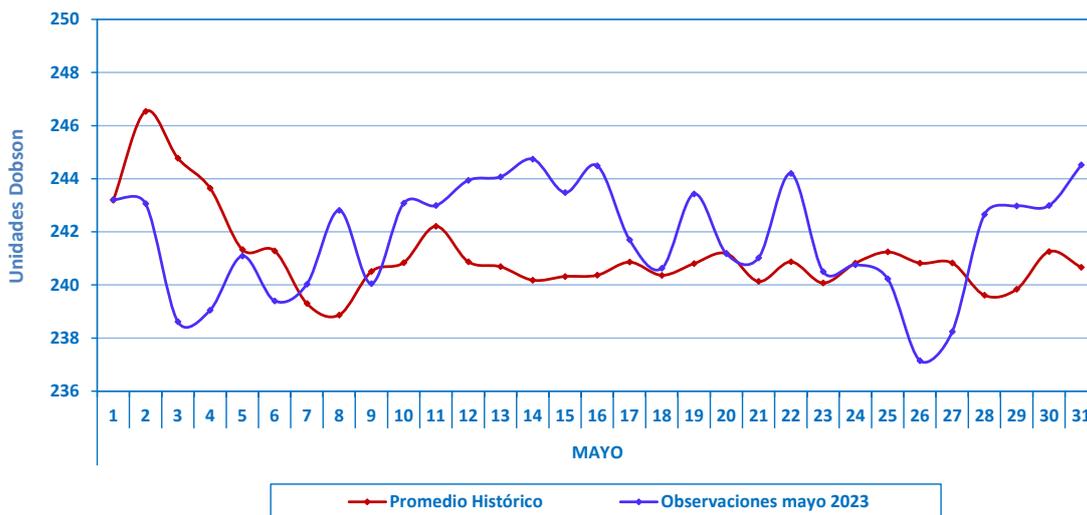
Cuando se comparan ambas series se ha observado un comportamiento algo variable, con valores que en algunos momentos se acercan a sus normales y en otros más bien alejándose (por encima y por debajo), lo cual puede

atribuirse a los procesos tanto físicos como químicos, así como a los cambios en la circulación atmosférica. La tendencia de las concentraciones de ozono sobre nuestro país, con respecto al mes de abril fue a una ligera disminución a lo largo del mes, debido a factores térmicos, así como de mezcla y de circulación atmosférica aleatoria debido a la estación de otoño.

En la estratósfera, la temperatura y las concentraciones de ozono van de la mano, de acuerdo a ello, se puede mencionar que, en el mes de mayo, en prácticamente todas las capas de la estratósfera las temperaturas han estado por debajo de sus valores normales (disminuyeron y por ende también el ozono). En la estratósfera baja a 50 hPa más bien las temperaturas estuvieron cercanos a sus valores normales.

**FIGURA N° 3**

**Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Mayo 2023.**



Es importante conocer también la variación temporal multianual de la concentración de ozono (climático) y poder relacionarlos con los procesos que generan los diferentes sistemas atmosféricos que gobiernan sobre nuestro país. En el OVA Marcapomacocha se presentan dos picos, uno en el mes de marzo con un valor de 244.5 UD y el otro, mucho mayor, en el mes de setiembre con un valor de 251.3 UD. Por otro lado, los valores bajos de ozono se registran climáticamente en los meses de enero con valores de 242.2 UD y otro entre los meses de mayo y junio con valores de 240.9 UD y 240.8 UD respectivamente. El promedio mensual de ozono en el presente mes fue de 241.8 UD superior en 0.9 UD al promedio mensual multianual (240.9 UD).

Se debe tener presente que, en la región tropical durante los meses del otoño

---

austral, vale decir abril hasta julio, las concentraciones de ozono disminuyen, por efectos fotoquímicos (cada vez la intensidad de la radiación ultravioleta es menor y su capacidad de formación de ozono también lo es) así como también por efectos térmicos y por la circulación atmosférica en la capa estratosférica (presencia de vientos variables). En cuanto a la circulación de los vientos, a nivel vertical, desde la tropósfera hacia la estratósfera permite el traslado de cantidades de ozono los cuales a lo largo de los meses lo van redistribuyendo hacia latitudes mayores (Circulación Brewer-Dobson), lo cual permite el déficit de ozono atmosférico en latitudes bajas (mucho más en estos meses). Cabe remarcar que esta circulación está conducida por ondas atmosféricas lo cual puede ser acelerada por el cambio climático repercutiendo en la distribución global de las concentraciones de ozono.

Al igual que la información de superficie, lo que proviene de los satélites es muy importante ante la falta de cobertura por parte de los primeros. En ese sentido, al realizar la comparación de los datos de ozono atmosférico provenientes de los satélites AURA (Plataforma OMI) y SUOMI (Plataforma OMPS) con lo registrado en superficie, se observó un desfase entre ellos. Con respecto a la información proveniente del AURA/OMI, durante el 72% de días del mes de mayo los valores de ozono diario medidos estuvieron por debajo de lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson. Para el caso de SUOMI/OMPS, ocurre que durante el 58% de días del mes estuvieron por debajo de lo registrado en superficie. Figura 4.

De este análisis podemos decir que la información proveniente de estos dos satélites se encuentra mayormente por debajo de lo registrado en superficie. Existen días donde las diferencias entre los valores registrados por el satélite y el medido en superficie, son bastante altas en el orden de 1 a 17 UD.

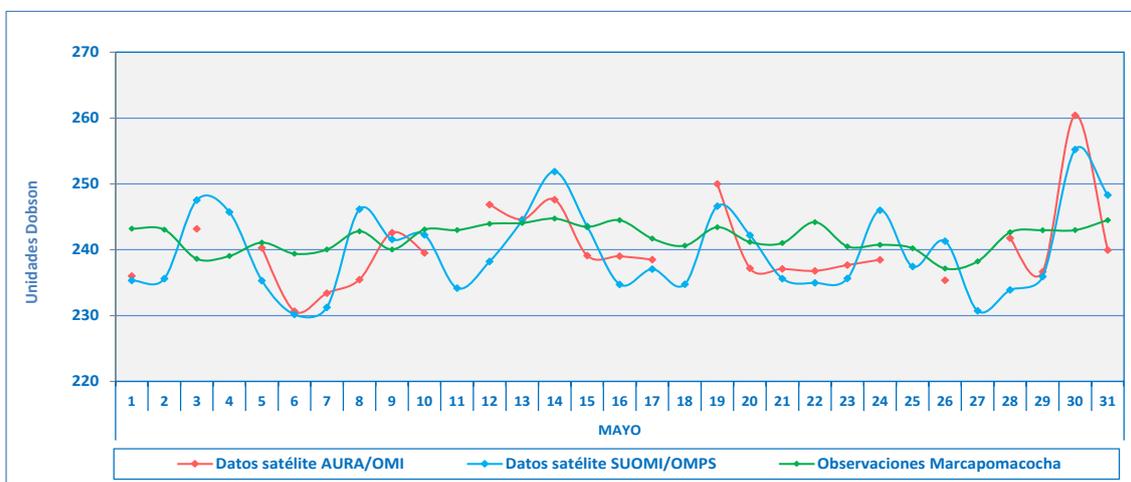
Cabe mencionar, que la tendencia de las concentraciones de ozono medidos en superficie ha sido relativamente estable en el tiempo mientras que los medidos con los satélites, variable.

La tendencia, de acuerdo a la climatología, es que las concentraciones de ozono continúen disminuyendo en el mes de junio.



## FIGURA N° 4

Comparación de información proveniente de los satélites AURA y SUOMI con lo registrado en superficie, en el OVA Marcapomacocha.



## Perfil Vertical de Ozono Atmosférico

Debemos saber que el 10% de la concentración de ozono se encuentra en la tropósfera y el otro 90% en la estratósfera. Es importante monitorear el comportamiento vertical de este gas en diferentes niveles de la atmósfera para conocer su variabilidad en el tiempo y poder relacionarlos con posibles cambios en los sistemas atmosféricos característicos de la región. En los últimos 30 años aumentaron, mucho más, las sustancias agotadoras de ozono, así como los gases de efecto invernadero los cuales tienen efecto en el comportamiento del ozono principalmente en la baja estratósfera debido a los efectos de la dinámica atmosférica, así como de las reacciones fotoquímicas.

Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial), desde el año 2000 hasta el 2020 se han observado por medio de mediciones del perfil vertical de la atmósfera y el desarrollo de modelos numéricos, una disminución en las concentraciones de ozono (~2% por década) en la estratósfera baja de la región tropical (20°S - 20°N), asimismo en la estratósfera media algo parecido para finalmente en la estratósfera superior un aumento de 2% por década.

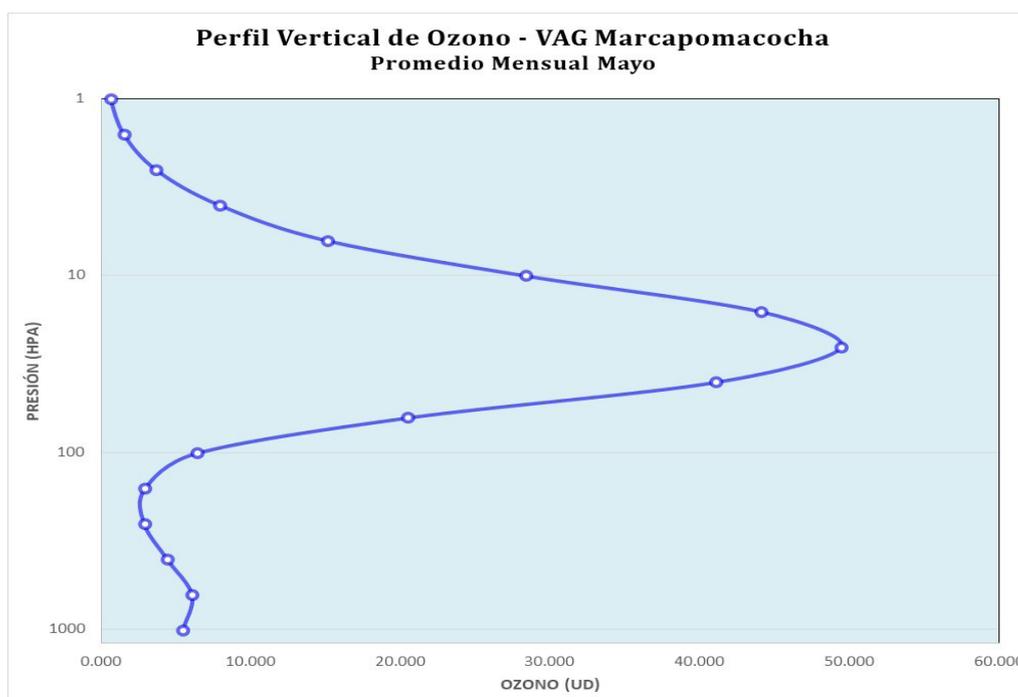
De acuerdo a ello, en la figura 5 se puede observar el comportamiento característico del perfil vertical de ozono para el mes de mayo en el OVA Marcapomacocha.

A nivel de tropósfera generalmente, las concentraciones de ozono disminuyen con la altura, para luego a nivel de estratósfera sufrir un incremento ostensible debido al incremento de la temperatura. En la estratósfera alta empiezan

a disminuir en forma paulatina. El gráfico presentado es remarcar que las mayores concentraciones de ozono se registran en esta segunda capa de la atmósfera. Se observa que las concentraciones de ozono son ligeramente menores a lo observado en el mes pasado, de acuerdo al perfil mostrado.

## FIGURA N° 5

### Perfil Vertical de Ozono



Según información de perfil vertical de ozono atmosférico para un día típico del mes de mayo (día 18) 2023 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones altas cuyos valores oscilan entre 23 UD y 32 UD entre la alta tropósfera y media estratósfera (el área de cobertura de estas concentraciones altas, aumento con respecto al mes pasado). Cabe mencionar que dicho hemisferio se encuentra en la estación de primavera, registrándose aún concentraciones altas de ozono, pero menores al mes pasado. En la región tropical (latitudes bajas) las concentraciones de ozono son bajas con respecto a abril, pero siempre en la estratósfera media y alta, todo ello debido a circulaciones regionales (Brewer-Dobson) y al efecto térmico. La altura de las concentraciones relativamente altas (15 UD a 23 UD) de ozono en latitudes bajas (en ambos hemisferios), se registra entre los 50 hPa y 10 hPa, mientras que, en latitudes medias del hemisferio sur, la altura de las concentraciones altas se dio entre los 90 hPa y 10 hPa.

Para el caso de nuestro país, concentraciones altas se han registrado entre los 50 hPa y 20 hPa con valores entre 13 UD y 23 UD (ligeramente inferiores al mes pasado).

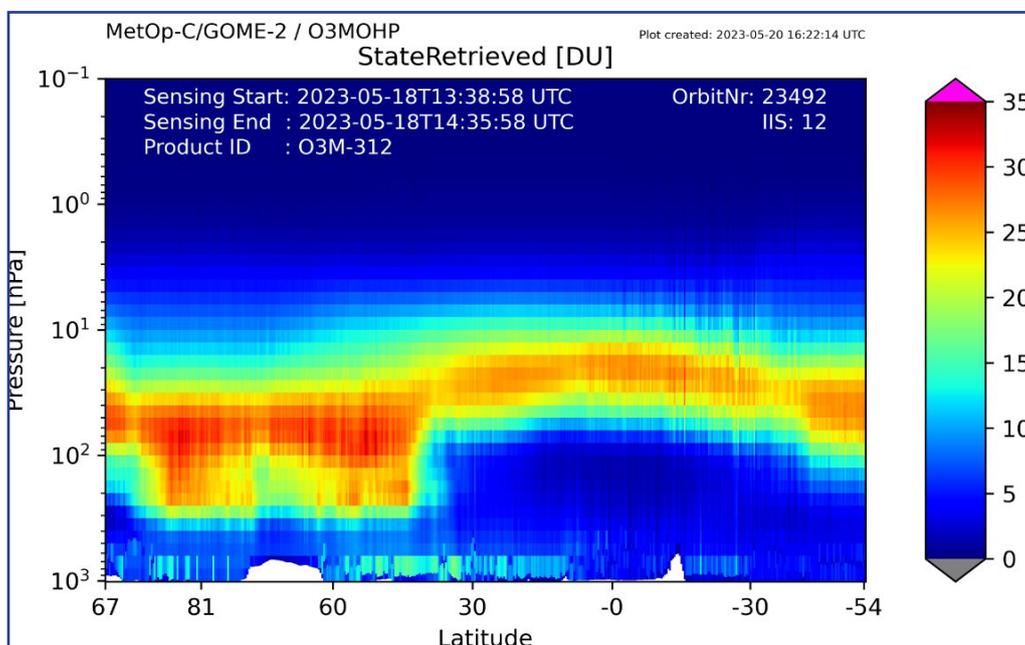
En los primeros niveles de la atmósfera (tropósfera) si bien es cierto que las concentraciones de ozono son bajas (oscilan, generalmente, entre 1 UD y 10 UD), esto se debe a los efectos residuales de la formación del ozono del día anterior, así como también a otros procesos.

Debe considerarse que la forma que adquiere la distribución vertical es típica en la atmósfera, sabiendo que las concentraciones pueden variar de acuerdo a la latitud, estación astronómica, condiciones meteorológicas, así como al efecto que tienen los gases de efecto invernadero, especialmente en la estratósfera baja. Figura 6.

En latitudes medias y altas del hemisferio norte ( $45^{\circ}\text{N}$  -  $85^{\circ}\text{N}$ ), continúan observándose concentraciones de ozono altos (23 UD a 32 UD) comparados a los de latitudes bajas (debido a procesos de circulación atmosférica), con la diferencia de que la altura de esas mayores concentraciones, se encuentran más bajas, (300 hPa a 30 hPa) características que son debidas principalmente a la baja densidad del aire en esa parte de la atmósfera como producto de las bajas temperaturas así como a intrusiones hacia la tropósfera de masas de aire con contenido de ozono.

#### FIGURA N° 6

##### Perfil Vertical de Ozono según GOME-2



---

## RELACIÓN DE MEZCLA DEL OZONO

Para entender mejor la variabilidad en las concentraciones de ozono es importante considerar la cantidad de mezcla de este gas que pueda existir en capas altas de la atmósfera. El término relación de mezcla permite conocer la cantidad o masa de las moléculas de ozono contenido en el aire medido en gramos de ozono por kilogramo de aire seco (g/kg). Otras definiciones permiten considerar también el término kg/kg.

Esta variable está influenciada por la circulación de las masas de aire los cuales pueden transportar concentraciones altas o bajas de ozono a las regiones en capas entre la baja y media estratósfera.

Según la información obtenida por el Análisis Retrospectivo de la Era Moderna para Investigación y Aplicaciones, versión 2 (MERRA-2 por sus siglas en inglés) es un análisis atmosférico global nuevo producido por la NASA. El objetivo de este análisis es proporcionar un registro detallado de la atmósfera global e incorporar aspectos adicionales del sistema climático como el ozono.

Para el análisis, se considera el nivel de 50 hPa como una capa intermedia entre la baja y media estratósfera.

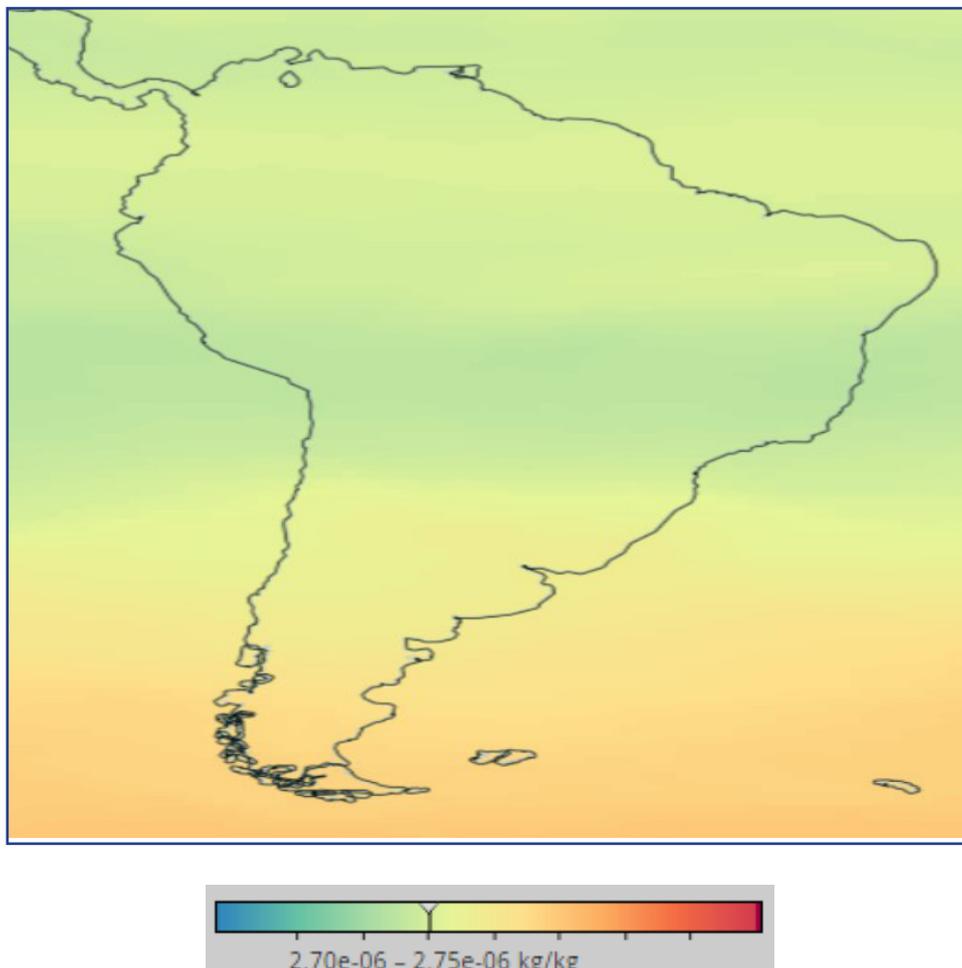
La figura 7 muestra el comportamiento mensual (mayo) de la relación de mezcla de ozono para Sudamérica. Para el caso específico de Perú se observan valores entre  $2.35e-06$  a  $2.60e-06$  kg/kg. Los valores de mezcla son menores que los obtenidos en el mes pasado, dándonos a entender que debido a la estacionalidad y la circulación de los vientos las mezclas no han aportado con concentraciones de ozono significativas.

En latitudes medias las relaciones de mezcla se incrementan con valores de  $3.10e-06$  a  $4.00e-06$  kg/kg debido a los procesos de circulación atmosférica (efectos de la circulación Brewer-Dobson).



## FIGURA N° 7

Relación de Mezcla de Ozono a 50 hPa. Mayo 2023 (MERRA-2)



## VAPOR DE AGUA

La estratósfera es una capa relativamente seca comparada con la tropósfera, solo se ha podido registrar que, en la capa baja de la misma, hay poca humedad.

Se vuelve a recalcar, que durante los días 13 y 15 de enero de 2022, se registró una erupción volcánica en el mar del Pacífico Sur, emitiendo grandes cantidades de aerosoles a la atmósfera. Tanta fue la potencia de la erupción que llegó hasta alturas que sobrepasaron la estratopausa, inyectando partículas y gases como el SO<sub>2</sub> (dióxido de azufre), HCl (cloruro de hidrógeno o ácido clorhídrico) y vapor de agua. Es bastante probable que sus efectos se vean con el transcurrir de los meses.

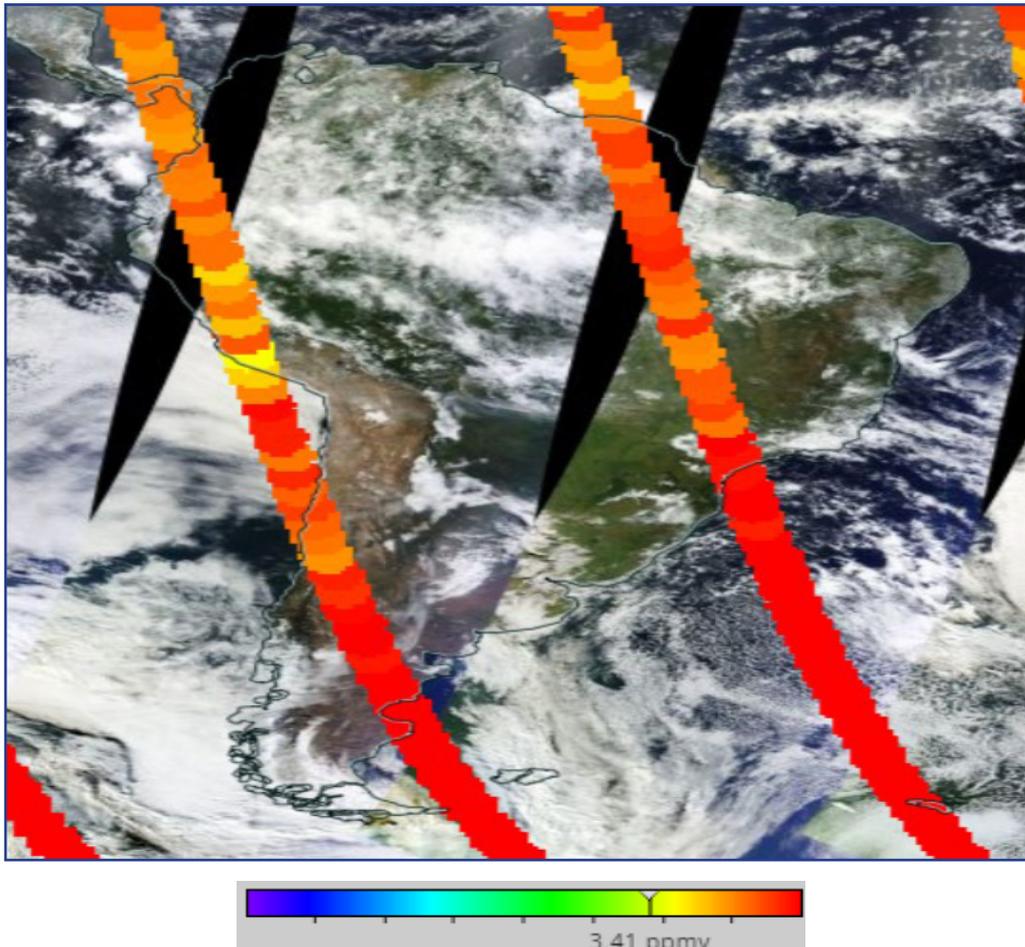
Tanto el vapor de agua como los aerosoles permiten la reflexión de la radiación

solar directa al espacio, si estos existieran en cantidades considerables permitiría un enfriamiento en la superficie de la tierra.

El vapor de agua genera calentamiento en la estratósfera y esto permitiría un cambio en las concentraciones de ozono y por ende su impacto a nivel de tropósfera.

En la figura 9 se observa un mapa con concentraciones de vapor de agua a nivel de 46 hPa (límite entre la estratósfera baja y media) para un día típico del mes (11 mayo 2023). En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua relativamente bajas en el sur del país con valores de 3.60 ppmv, mientras que en la sierra central valores entre 4.09 ppmv y 4.10 ppmv. En el lado oriental norte, concentraciones entre 4.11 ppmv y 4.20 ppmv. En la región central y norte continuaron registrándose las mayores concentraciones de vapor de agua debido al sobrecalentamiento del agua de mar afectando a Perú y Ecuador. Se debe tener en cuenta que estas concentraciones han sido menores al mes pasado, debido a una atmósfera relativamente seca, producto de la estacionalidad.

**FIGURA N° 8**  
Vapor de Agua a 46 hPa



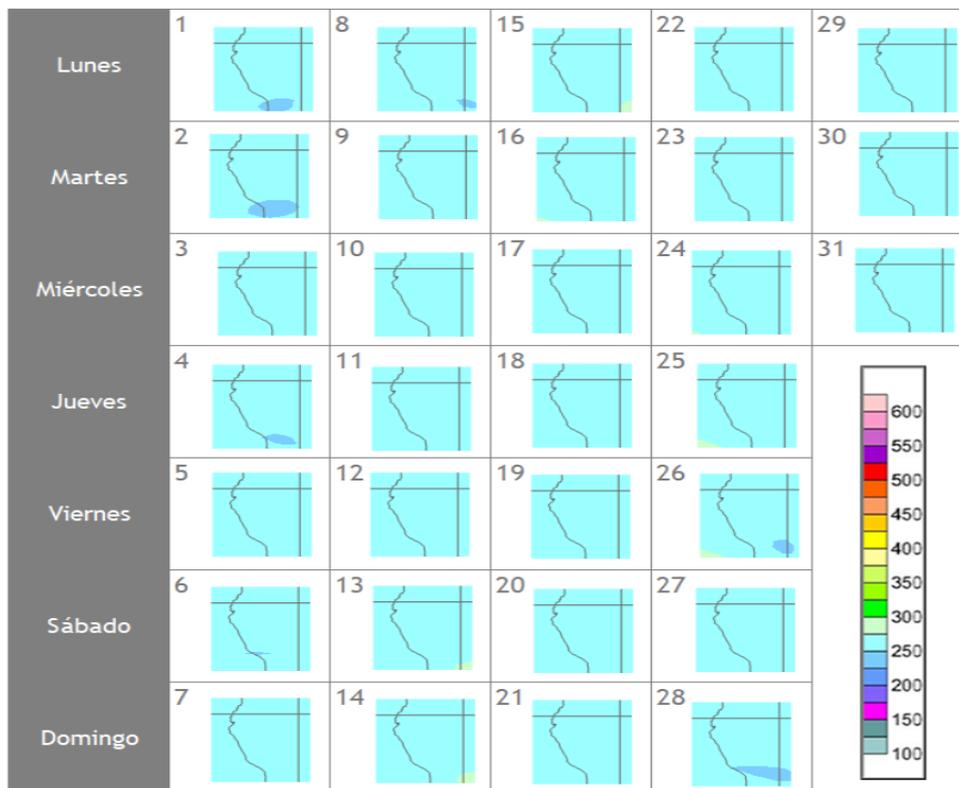
# COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO SOBRE EL PERÚ

En cuanto al análisis de los mapas en forma diaria provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration - NASA (Figura 8), podemos mencionar que, para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico, que muestra el mapa, fueron menores comparados al mes anterior, en gran parte del país. En todo el mes las concentraciones de ozono oscilaron entre 225 UD y 275 UD. El día 07 de mayo se registró el valor mas bajo en la región sur del país con un valor entre 200 UD y 220 UD.

En toda la costa, las concentraciones de ozono oscilaron entre 225 UD y 250 UD, que en comparación del mes pasado fueron similares. La cobertura de estas concentraciones relativamente bajas, se incrementó. Se registraron tres días con concentraciones altas y estas fueron el 13, 14 y 30 de mayo en todo el país. En la región andina las concentraciones de ozono fueron mucho menores.

## FIGURA N° 9

Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de mayo 2023



---

## TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATOSFERA

Finalmente es importante considerar que lo que pase en la atmósfera baja tiene, a veces, su impacto en la atmósfera alta o viceversa, y para poder entender la variabilidad del ozono atmosférico es importante conocer cómo es el comportamiento temporal de la temperatura en dichos niveles. Por ello se requiere analizar lo que pasa en la atmósfera alta y ver el comportamiento de las temperaturas en la estratósfera baja aproximadamente en los 70 hPa.

El que la temperatura aumente o disminuya en la estratósfera va a depender de las concentraciones de sustancias que agotan el ozono, así como de la estacionalidad y la circulación atmosférica.

En la Figura 10 se muestra la distribución temporal de la temperatura desde el mes de enero 2022 hasta el mes de mayo 2023, al nivel de 70 hPa y entre las latitudes 25°S - 25°N.

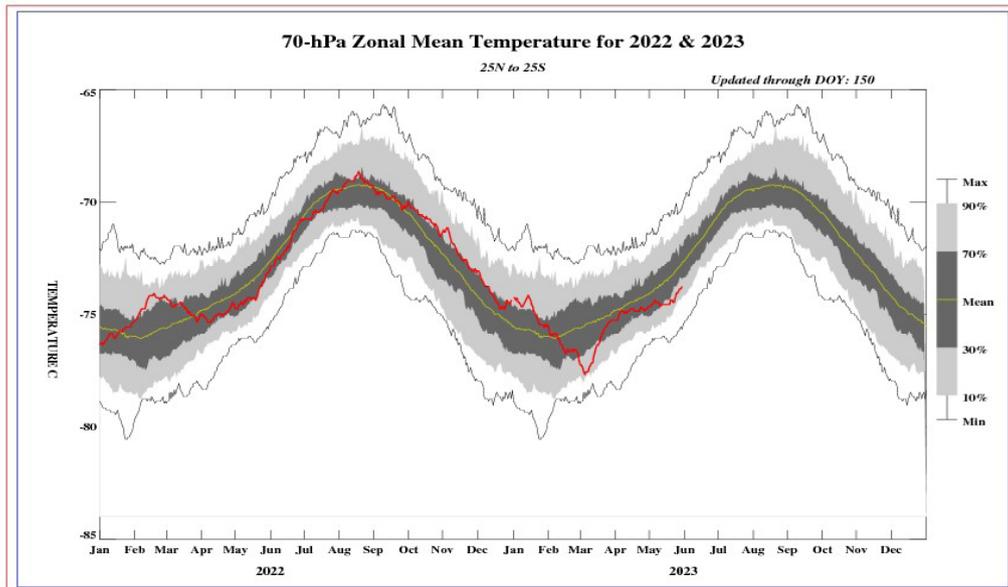
Durante los días de registro, la temperatura en ese nivel (línea de color rojo), se alejó a sus valores climáticos durante las dos primeras décadas del mes, permitiendo un ligero enfriamiento en el aire, mientras que, en las dos últimas décadas, empezó a acercarse permitiendo un ligero calentamiento del mismo. De acuerdo al comportamiento térmico del aire en ese nivel, las concentraciones de ozono disminuyeron, pero no tanto como se esperaba. En este mes las temperaturas estuvieron muy por debajo de sus valores normales en casi todas las capas de la estratósfera, mientras que, en la capa de 50 hPa, se mantuvieron similares a sus valores climáticos.

La variabilidad de la concentración de ozono en ese nivel asociado a los cambios en la temperatura es una consecuencia del movimiento de traslación de la tierra con respecto al sol, así como a procesos de transferencia radiativa y reacciones fotoquímicas. Se suma también, el proceso de la circulación Brewer-Dobson, así como a circulaciones de viento regionales a nivel de alta atmósfera. Por otro lado, hay que destacar el impacto que tiene la emisión de sustancias agotadoras de ozono hacia la atmósfera por parte del factor antropogénico. Se debe tener presente que, por lo general, un aumento (físico) de la temperatura en la atmósfera alta, está ligada con un aumento de las concentraciones de ozono y viceversa, los cuales tienen causales, valga la redundancia, físicos y químicos. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel y para este mes es de  $-73.3^{\circ}\text{C}$ , menor en valor numérico al mes pasado. La temperatura calculada en este mes, fue de  $-74.3^{\circ}\text{C}$ . Como se observa, una disminución de la temperatura de la masa de aire el cual permite que sea más frío. Debe recordarse que, durante el año, climáticamente se presentan dos mínimos de ozono, uno en el mes de enero y el otro entre los meses de mayo y junio (tal como se ha descrito en párrafos

anteriores). En el presente mes, como ya anteriormente se ha mencionado, el promedio mensual registrado en superficie fue de 241.8 UD, menor al mes anterior.

#### FIGURA N° 10

#### Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de mayo 2023



Fuente: National Weather Service, Climate Prediction Center (Web Site)

El comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur en un día típico de mayo, es mostrado en la Figura 11 en donde se aprecia que las temperaturas en el continente Antártico han registrado valores entre  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $-80^{\circ}\text{C}$ , debido al establecimiento de la estación de otoño. Las temperaturas en dicho continente seguirán disminuyendo por factores atmosféricos (circulación atmosférica) y astronómico (mayor alejamiento de la tierra con respecto al sol).

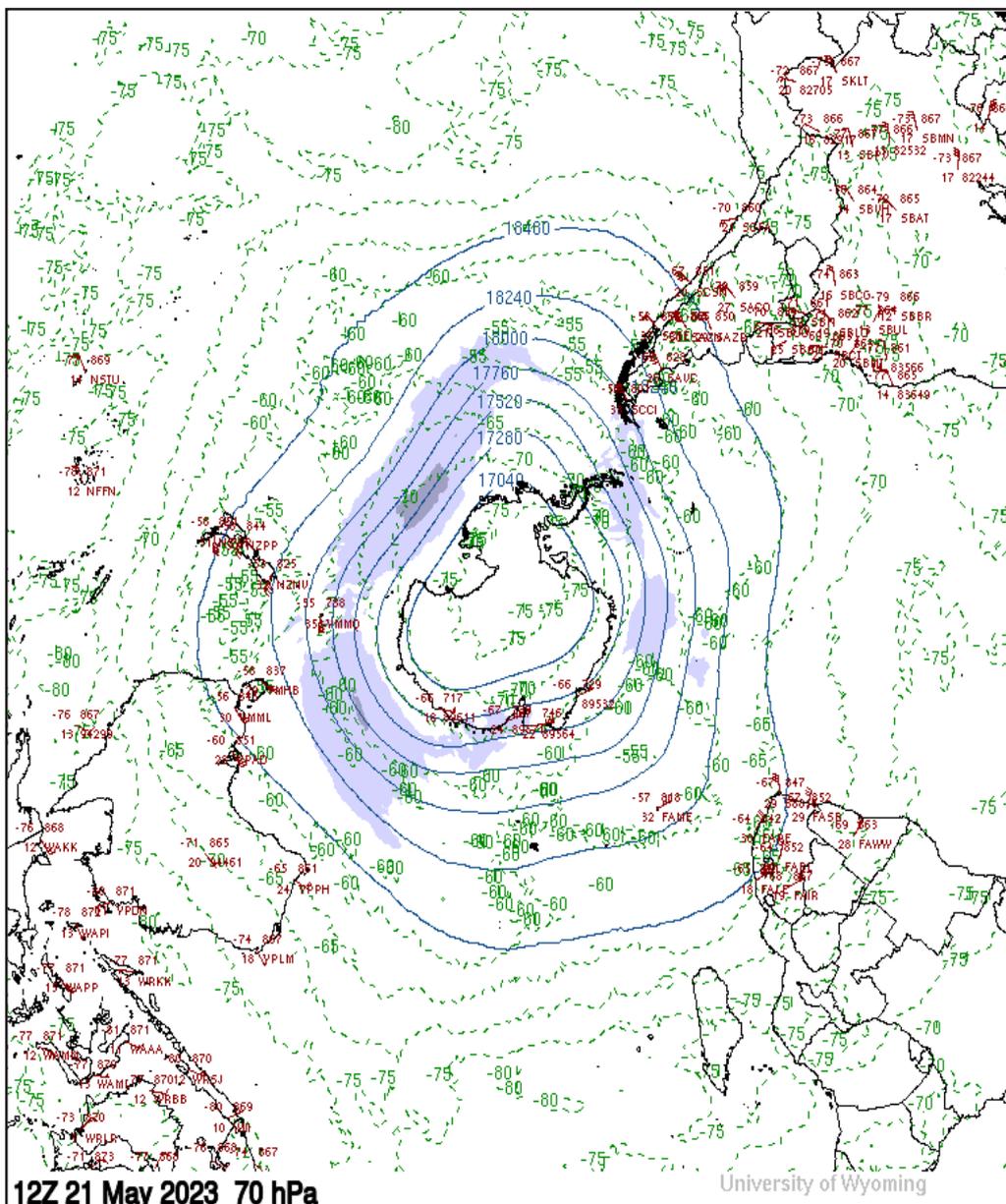
Cabe remarcar que la posición de la tierra con respecto al sol (inclinación con respecto al plano ecuatorial) juega un papel importante en los procesos físico-químicos de la atmósfera. Asimismo, es importante señalar que una disminución de la temperatura en la región tropical, se debe a una baja mezcla de aire con contenido de ozono proveniente de otras latitudes.

En la región tropical o latitudes bajas, las temperaturas en este mes, en la atmósfera alta (baja, media y alta estratósfera), como se ha mencionado anteriormente, vienen registrando valores muy por debajo de sus normales climáticas, mientras que en la capa de 50 hPa están cercanos a sus valores normales.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel han registrado un valor aproximado entre  $-74^{\circ}\text{C}$  y  $-75^{\circ}\text{C}$ , (más frío al mes anterior), siendo uno de los factores para la disminución (a nivel diario) en las concentraciones de ozono en nuestro país y en parte de la región tropical. A estas condiciones se le aúna la presencia de vientos mayormente zonales con escasos aportes de ozono. La diferencia que marcó que las concentraciones de ozono no disminuyan demasiado ha sido la presencia de vientos quasi meridionales, que inyectaron masas de aire con contenido de ozono en países de latitudes bajas.

### FIGURA N° 11

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (21 mayo 2023)



Fuente: Universidad de Wyoming



---

### III.-CONCLUSIONES

1. El mes de mayo se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono sobre nuestro país (los medidos en superficie) continúan disminuyendo. En el presente mes el valor registrado fue de 241.8 UD como valor promedio. Esta ligera disminución tuvo como causa la baja de temperatura en 70 hPa, así como a una mezcla baja de masas de aire en la estratósfera baja.
2. En cuanto a la variación temporal (promedio diario) de la concentración de ozono durante el mes, medidos con el espectrofotómetro Dobson en el OVA Marcapomacocha, oscilaron entre 237.2 UD a 244.5 UD, siendo menores al mes pasado. Esto, en cierta manera implica que el régimen térmico ha presentado una disminución.
3. Con respecto a la distribución vertical del ozono, en el OVA Marcapomacocha, según información obtenida por el Metop-C/GOME-2, durante un día típico del mes de mayo, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical, continua registrándose entre los 50 hPa y los 10 hPa (media estratósfera) con valores de 15 UD y 23 UD, mientras que en latitudes altas del hemisferio sur, la altura de las máximas concentraciones se dio entre los 90 hPa y 10 hPa con valores de 20 UD. La altura de la máxima concentración de ozono sigue relacionada con la variabilidad de la circulación atmosférica en estas dos subcapas, así como a las variaciones termales. Debido a la mayor densidad del aire, la altura en la región tropical es mayor.
4. En latitudes altas del hemisferio norte, se observó una mayor área con concentraciones de ozono altas con valores entre 23 UD a 32 UD, especialmente entre los 300 hPa y 30 hPa. El cambio de estación en dicho hemisferio (aunque ya con condiciones propias de otoño) permite continuar con el registro de dichos valores.
5. A pesar de que el ozono es un gas traza, los valores de relación de mezcla mostrados nos indican que las concentraciones, si bien es cierto en valor numérico no son altos, a nivel físico son muy importantes porque controlan el ingreso de la radiación ultravioleta a la superficie terrestre. Sobre nuestras latitudes la relación de mezcla fue baja (menor al mes pasado) con valores entre  $2.35e-06$  kg/kg y  $2.70e-06$  kg/kg, siendo uno de los causantes de la disminución de la concentración de ozono sobre nuestras latitudes (flujos de viento zonales, mayormente). En latitudes



medias, la mezcla es mayor ( $3.10e-06$  kg/kg -  $4.00e-06$  kg/kg) debido a la circulación atmosférica, registrándose mayores concentraciones de ozono.

6. Por otro lado, la concentración de vapor de agua que se pueda tener en la estratósfera es importante para el balance radiativo de la atmósfera, así como para la variabilidad en el comportamiento del ozono. Sobre nuestro país, al nivel de 46 hPa, se observaron concentraciones bajas en el sur (3.60 ppmv), mientras que en el centro entre 4.09 ppmv y 4.10 ppmv para finalmente en el norte, concentraciones entre 4.11 ppmv a 4.20 ppmv. Dichas concentraciones podrían estar relacionadas con el sobrecalentamiento del agua de mar en la región norte del país.
7. Los mapas de ozono total atmosférico (provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration - NASA), muestran concentraciones bajas, en la franja costera peruana, con valores entre 225 UD y 250 UD. En otras partes del país las concentraciones de ozono oscilaron entre 225 UD y 275 UD. Este comportamiento, en forma general, responde a la disminución de la temperatura en casi todas las capas de la estratósfera, así como a la predominancia de vientos zonales, así como a procesos fotoquímicos, aunados a la baja relación de mezcla.
8. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que, durante el mes de mayo, los valores se caracterizaron por una ligera disminución ( $-74.0^{\circ}\text{C}$  -  $-75^{\circ}\text{C}$ ), permitiendo que se registrara una baja en las concentraciones de ozono (lo cual guarda relación con el comportamiento climático).
9. Debido a que mayo es un mes donde los niveles de radiación solar continúan con la tendencia a la baja debido a la estación de otoño, trae como consecuencia, que los procesos físicos-químicos en la estratósfera sean cada vez menos dinámicos influyendo grandemente en las concentraciones de ozono atmosférico.
10. Se requiere disponer de información real de la concentración de ozono total a nivel del perfil vertical de la atmósfera a fin de realizar el contraste respectivo con lo obtenido por los satélites y determinar la desviación respectiva. En los periodos donde no se tenga información real se podría utilizar el brindado por los satélites aplicando ciertos algoritmos de cálculo.



**Dirección de Meteorología y evaluación Ambiental Atmosférica:**

Ing. Gabriela Rosas Benancio

[grosas@senamhi.gob.pe](mailto:grosas@senamhi.gob.pe)

**Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico:**

Ing. Jhojan Rojas Quincho

[jprojas@senamhi.gob.pe](mailto:jprojas@senamhi.gob.pe)

**Análisis y Redacción:**

Ing. Orlando Ccora Tuya

Bach. Juan Tacza Ordoñez

Tco. Rosalinda Aguirre Almeyda

Tco. Julia Astudillo Capcha

**Consultas y sugerencias:**

[occora@senamhi.gob.pe](mailto:occora@senamhi.gob.pe)

**Suscríbete para recibir la edición digital al enlace: <https://forms.gle/cqZit9WHG7gLktbT6>**

**Próxima actualización: 15 de julio de 2023**



**Servicio Nacional de Meteorología e  
Hidrología del Perú - SENAMHI**

Jr. Cahuide 785, Jesús María

Lima 11 - Perú

**Central telefónica: [51 1] 614-1414 anexo 444**

**Subdirección de Evaluación del Ambiente  
Atmosférico:**