

NOVIEMBRE 2024  
Vol.11

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





## Introducción

El ozono protege cerca del 98% de la radiación solar que recibe la Tierra. Ahora bien, la capa de ozono sufre un deterioro natural, pero la acción del ser humano ha hecho que este desgaste avance muy rápidamente.

A lo largo de la capa de ozono, científicos encontraron ciertos puntos donde la densidad de esta era muy inferior a lo normal, permitiendo la entrada de mayor radiación. Esta radiación influía directamente sobre la Tierra, provocando lo que conocemos actualmente como Efecto Invernadero. Los “agujeros” en la capa de ozono se encontraron sobre todo en el polo norte, esto porque los países más desarrollados y contaminantes se encuentran en este hemisferio.

Asimismo, las investigaciones llegaron a la conclusión de que se dieron las condiciones propicias para la producción de clorofluorocarbonos. Este elemento se encuentra en los aerosoles y las refrigeradoras industriales o fungicidas. Su uso provoca una destrucción 50 veces más rápida de la capa de ozono que de forma natural.

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).

\*\*\*\*\*

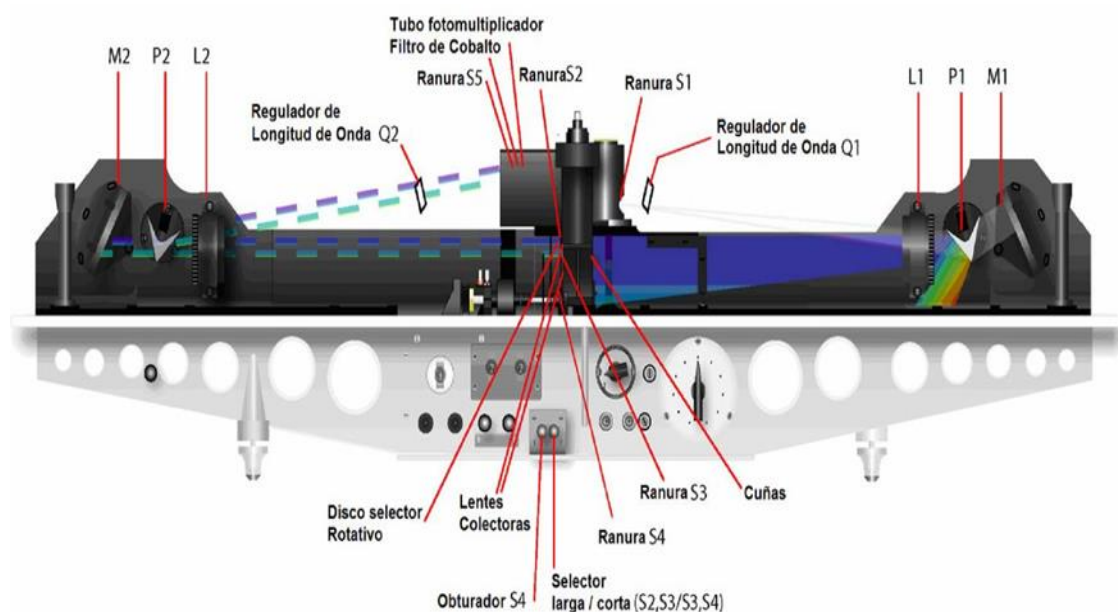
# I. CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

## 1. MEDICIÓN 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. MEDICIÓN 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, BUUV) 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 hiperespectrales 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

En el mes de noviembre la estratósfera baja y media de la región tropical ha registrado características térmicas con una disminución en todos los niveles o capas, especialmente en toda la estratósfera baja, mientras que en la estratósfera media se registró un incremento y luego un decremento. Proceso parecido se dio en la estratósfera alta. Cabe mencionar que, en las capas altas de la estratósfera baja, el régimen térmico estuvo por encima de sus valores normales, si bien es cierto disminuyeron, pero no fue tan abrupto, trayendo como consecuencia que las concentraciones de ozono hayan registrado una tendencia a la disminución con respecto al mes de octubre. La relación de mezcla de ozono, variable que también ayuda al mejor entendimiento del aumento o disminución de la misma, ha continuado siendo deficiente en la estratósfera baja.

En lo que respecta al flujo de vientos, se registraron bastante variables, pero con una cierta tendencia proveniente del este tanto en la estratósfera baja (100 hPa, 70 hPa y 50 hPa) como en la media (30 hPa y 15 hPa) mientras que, en la parte alta, los vientos mayormente fueron del oeste. Los primeros y segundos no aportaron concentraciones de ozono o si lo hicieron fueron bajos mientras que los vientos de la parte alta, aportaron cierta cantidad de ozono, pero no fue lo suficiente. En el caso de la alta tropósfera, los sistemas atmosféricos que gobiernan el tiempo sobre nuestro país, terminan siendo desplazados hacia el hemisferio sur debido al mayor establecimiento de la estación astronómica de primavera. La convección húmeda mínima ha continuado registrada, como hace varios meses, en la región norte del país (específicamente departamento de Tumbes y Piura) debido a la invasión de masas de agua cálidas los cuales han sido frecuentes, durante la primera quincena del mes y parte de la segunda quincena, provenientes del hemisferio norte, presentando incidencias no solo en la circulación de los vientos de la atmósfera baja sino también en la atmósfera alta. Se debe tener presente que estos procesos, así como la presencia de moderada humedad en la baja estratósfera llegan a tener repercusión en las propiedades físicas de dicha capa, permitiendo obtener valores de ozono atmosférico menores al mes anterior, especialmente en la región central y sur del país.

Un parámetro que conviene resaltar y que influye en el comportamiento del ozono es la denominada Oscilación Quasi Bienal (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 (niveles inferiores de la atmósfera), 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 los procesos que involucran el mayor establecimiento de la estación de la primavera austral, interactúan entre sí en las diferentes capas de la atmósfera, permitiendo el transporte de calor o energía. En ese sentido, se analiza la capa de 70 hPa (día 18 de noviembre) dado de que es representativa de la baja estratósfera. A lo largo del mes, climáticamente sobre nuestras latitudes, las concentraciones de ozono empiezan a registrar un comportamiento al descenso debido a la aparición de vientos zonales negativos, los cuales aportan pocas concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes. Durante las primeras dos semanas del mes, los vientos fueron del oeste para luego a partir de la tercera semana ser muy variables con vientos del sur, sur este, sur oeste y este. Se registraron vientos del norte los cuales aportaron cierta cantidad de ozono atmosférico, pero en forma bastante esporádica. Los flujos de viento que dan pie a la formación de núcleos anticiclónicos, en esta parte del hemisferio sur, prácticamente no se han visto fortalecidos por proceso alguno.

En latitudes medias, del hemisferio sur, la circulación de vientos ha continuado siendo zonal positivo aportando concentraciones altas de ozono atmosférico sobre estas regiones (latitudes medias) debido a la influencia de flujos de viento de latitudes altas (vórtice polar).

En cuanto al régimen térmico (latitudes 25°N - 25°S), tal como sucintamente se mencionó anteriormente, se puede señalar lo siguiente: en la estratósfera baja y media, se ha observado comportamientos al descenso (100 hPa, 70 hPa, 50 hPa, 30 hPa y 15 hPa). A nivel de alta estratósfera (5 hPa, 2 hPa y 1 hPa), el comportamiento también tuvo dos caminos, el primero al ascenso y el segundo al descenso. A pesar de este comportamiento de la temperatura en todos estos niveles, las concentraciones de ozono lograron disminuir en la región tropical. El comportamiento térmico en la baja y media estratósfera estaría relacionado por la paulatina presencia de vientos del este con baja relación de mezcla de ozono, así como a un incremento ligero de la concentración de humedad atmosférica. En el caso de Perú, se debe remarcar que, de acuerdo a la información de superficie, las concentraciones de ozono en este mes han sido ligeramente inferiores al mes pasado (a nivel promedio mensual), con una tendencia a continuar con ese proceso. Cabe enfatizar que tanto los valores mínimos como máximos de ozono sobre nuestro país, en este mes, fueron inferiores a los

\*\*\*\*\*

valores registrados en el mes de octubre. La amplitud entre dichos valores en el presente mes, ha sido similar al mes pasado. Figura 2.

Con el fin de sustentar lo descrito a nivel de baja estratósfera, podemos mencionar que, de la vigilancia realizada en el mes de noviembre a nivel de superficie, en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica (OVA) Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario de la concentración de ozono atmosférico en general, estuvo oscilando entre 237.1 UD y 252.7 UD (UD = Unidades Dobson). A nivel promedio mensual fueron inferiores.

Se debe mencionar que en las primeras horas del día las concentraciones de ozono son relativamente altas debido al ozono acumulado en horas de la noche (cabe mencionar que, en noviembre, climáticamente, se forma menos ozono) 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 primeras horas de la mañana la incidencia de la radiación ultravioleta, en esta temporada, se incrementa, 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 entre altos a extremadamente altos (en los meses de primavera y verano son mayores), permite una reducción del ozono (mayor actividad fotoquímica) 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 (reacciones químicas durante el día, de compuestos o gases generadores de ozono troposférico) 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 mostrado un incremento debido al mayor establecimiento de la estación de primavera. En algunas regiones, especialmente en el norte han sido ligeramente mayores al mes pasado, mientras que en la región central y sur los niveles fueron superiores. La cantidad de aerosoles tiende a incrementarse (más en la sierra y selva) debido a la temporada de lluvias lo cual permite registrar mayor humedad sobre nuestras regiones permitiendo una menor transparencia atmosférica, principalmente en la región andina norte y central. Se espera que en el mes siguiente dichos valores de radiación, continúen incrementándose debido a condiciones propias de la estación astronómica.

\*\*\*\*\*



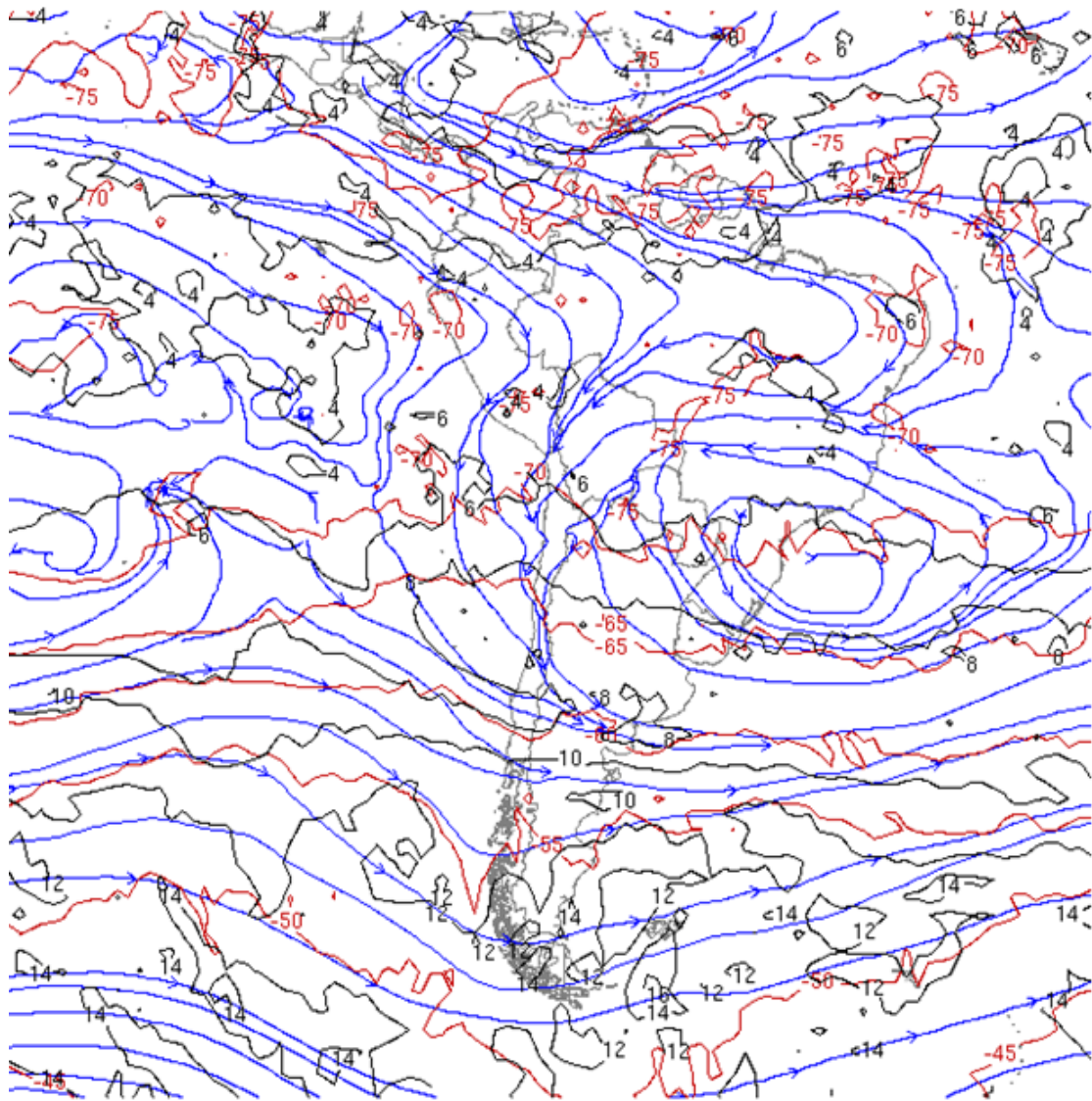
Parte de la humedad de la tropósfera también se distribuye en la baja estratósfera permitiendo una menor formación de ozono atmosférico

**FIGURA N°2**

Flujos de masas de aire variables conjuntamente con flujos zonales

Fuente: Weather Service de la University of Wyoming

Temperature [C] | Ozone Partial Pressure [ubar]



University of Wyoming

0 Hour 70 hPa Forecast Valid 18Z Mon 18 Nov 2024

El comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2023) del mes de noviembre oscila entre 244.1 UD y 250.8 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de noviembre del presente año, oscilaron entre 239.0 UD y 249.3 UD.

\*\*\*\*\*

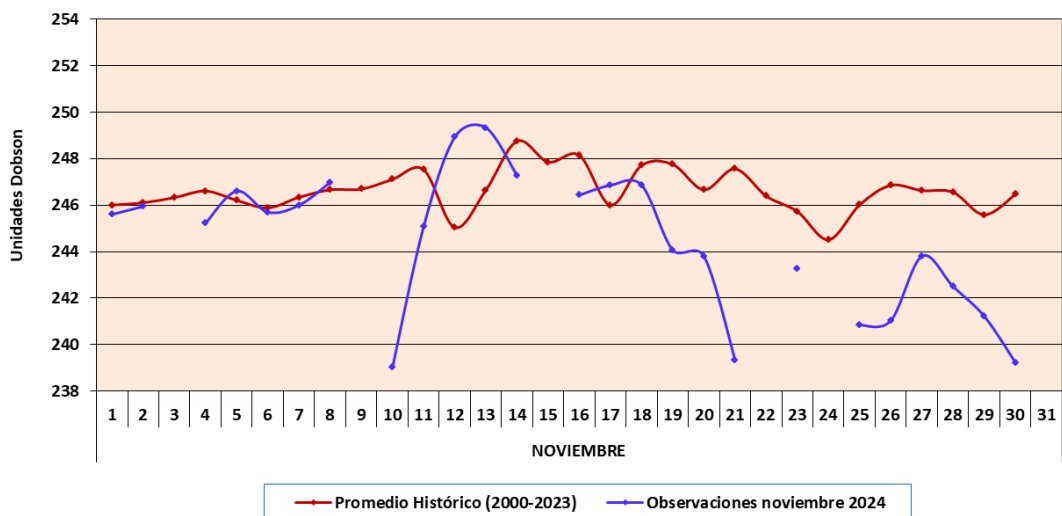
En la figura se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 80% por debajo de sus valores climáticos, mientras que un 20% por encima (cabe mencionar que hubo un desfase de hasta 8 UD entre el valor histórico y el registrado durante el mes de noviembre del presente año).

Cuando se comparan ambas series se ha venido observando un comportamiento variable, con valores que en algunos momentos se acercan a sus normales (por ejemplo durante los días 01, 02, 05, 06, 07 y 08) y en otros más bien alejándose (en el resto de días no mencionados, principalmente entre 10, 21, 25, 26, 27, 28, 29 y 30 de noviembre), lo cual se atribuye a los cambios bruscos en la circulación atmosférica (vientos del este y en otros momentos del sur y sur este), así como también por la cantidad de vapor de agua emitida a la atmósfera por el volcán Hunga Tonga en el Pacífico Sur, en enero de 2022, el cual se piensa, va originando también efecto en latitudes bajas muy aparte de las medias y altas del hemisferio sur. La tendencia de las concentraciones de ozono sobre nuestro país, con respecto al mes de octubre ha registrado valores inferiores (pero con una tendencia a la disminución, especialmente los valores tanto mínimos como máximos).

En la estratósfera, la temperatura y las concentraciones de ozono generalmente van de la mano, de acuerdo a ello, se puede mencionar que, en el mes de noviembre, en todas las capas de la estratósfera, las temperaturas continúan por debajo de sus valores normales, con excepción de las capas de 70 hPa y 50 hPa, donde el régimen térmico estuvo por encima de sus valores climáticos, pero siempre con la tendencia a la disminución. Puntualmente en la estratósfera alta se registró un aumento y luego una disminución.

**FIGURA °3**

Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Noviembre 2024.



\*\*\*\*\*

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. 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 244.4 UD inferior en 3.0 UD al promedio mensual multianual (247.4 UD).

Se debe tener presente que, en la región tropical durante los meses de la primavera austral, vale decir desde el 21 de setiembre hasta el 21 de diciembre, las concentraciones de ozono tienden al descenso (climático), en un primer momento, debido a factores astronómicos, así como a procesos de la circulación a nivel de estratósfera (vientos del este mayormente, así como una menor relación de mezcla) y una alta actividad fotoquímica. 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), permitiendo un déficit de ozono atmosférico en latitudes bajas (mucho más en los meses de mayo-junio). Esta circulación está conducida por ondas atmosféricas la cual puede ser acelerada por el cambio climático repercutiendo en la distribución global de las concentraciones de ozono. En el mes de noviembre, se ha empezado a registrar masas de aire provenientes de varias direcciones (70 hPa), empezando desde el oeste, pasando por vientos del sur y sureste y terminando con vientos de este y esporádicamente del norte, lo que hizo que las concentraciones de ozono atmosférico tiendan a un ligero descenso, sobre nuestras latitudes.

Los procesos de advección húmeda han sido bajos en este mes, con excepción de lo ocurrido la zona norte del país (departamento de Tumbes y Piura), donde se ha continuado registrando invasiones de masas de agua provenientes del Pacífico norte, especialmente a partir de la segunda quincena, manteniendo condiciones de alta humedad en toda esa región. Probablemente se haya registrado algún proceso de advección húmeda tropósfera-estratósfera (aunque regionalmente ha empezado a calentarse) motivo por el cual las concentraciones de ozono hayan sido inferiores al mes pasado. A esto se le añade el flujo de vientos provenientes del sur, sureste y este, los cuales han realizado un escaso aporte de concentraciones de ozono sobre nuestro país y obviamente en parte de nuestra región sudamericana. Un factor que interactúa con estos procesos es la humedad atmosférica, el cual se ha incrementado con respecto al mes pasado.

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, continúa observándose un desfase entre ellos. Con respecto a la información proveniente del AURA/OMI, durante el 74% de días del mes de noviembre, los valores de ozono diario medidos estuvieron por encima de lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson. Para el caso de SUOMI/OMPS, ocurre lo mismo, durante el 64% de días del mes estuvieron por encima de lo registrado en superficie. Figura 4.

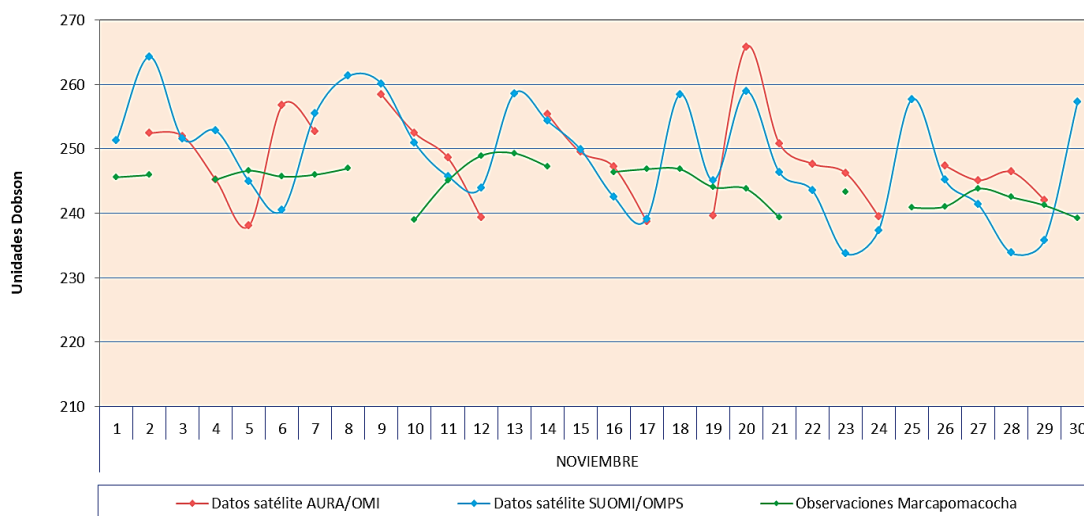
De este análisis podemos decir que la información proveniente de estos dos satélites es bastante mayor a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson, cuando anteriormente eran inferiores, Existen días donde las diferencias entre los valores registrados por el satélite y el medido en superficie, son bastante altas en el orden de 1 a 22 UD como producto del tipo o forma de medición que realiza el satélite, así como por factores de circulación atmosférica.

La tendencia de las concentraciones de ozono medidos en superficie ha registrado una disminución durante el mes, debido a la circulación de los vientos en la atmósfera, así como a procesos fotoquímicos, mientras que los medidos con los satélites, también mostraron ese comportamiento.

El pronóstico, de acuerdo a la climatología, es que las concentraciones de ozono continúen disminuyendo desde octubre hasta enero del siguiente año debido a los mayores procesos de reacciones fotoquímicas como producto del acercamiento a la estación de verano.

**FIGURA N°4**

Comparación de información proveniente de las plataformas OMI y OMPS con lo registrado en superficie, en el OVA Marcapomacocha.



\*\*\*\*\*

## Perfil Vertical de Ozono Atmosférico

Por lo general, el 10% de la concentración de ozono se encuentra en la tropósfera y el otro 90% en la estratósfera. En ese sentido, cobra vital importancia 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 (cambios en la transferencia radiativa o circulación de los vientos). Se debe mencionar que en los últimos 40 años el uso de las sustancias agotadoras de ozono empezó a disminuir para dar paso al uso de sustancias sustitutas, los cuales al fin y al cabo destruyen el ozono atmosférico, pero en menor cantidad. Actualmente es notoria, la emisión de 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. Se suma a ello las implicancias que pudiera tener, en las concentraciones de ozono, la erupción del volcán Hunga Tonga, anteriormente explicado en párrafos anteriores.

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.

Teniendo en cuenta lo descrito líneas arriba y de acuerdo a la figura 5, obtenido de la National Aeronautics and Space Administration - NASA, plataforma OMPS, se ha podido observar el comportamiento típico del perfil vertical de ozono para el mes de noviembre en el OVA Marcapomacocha.

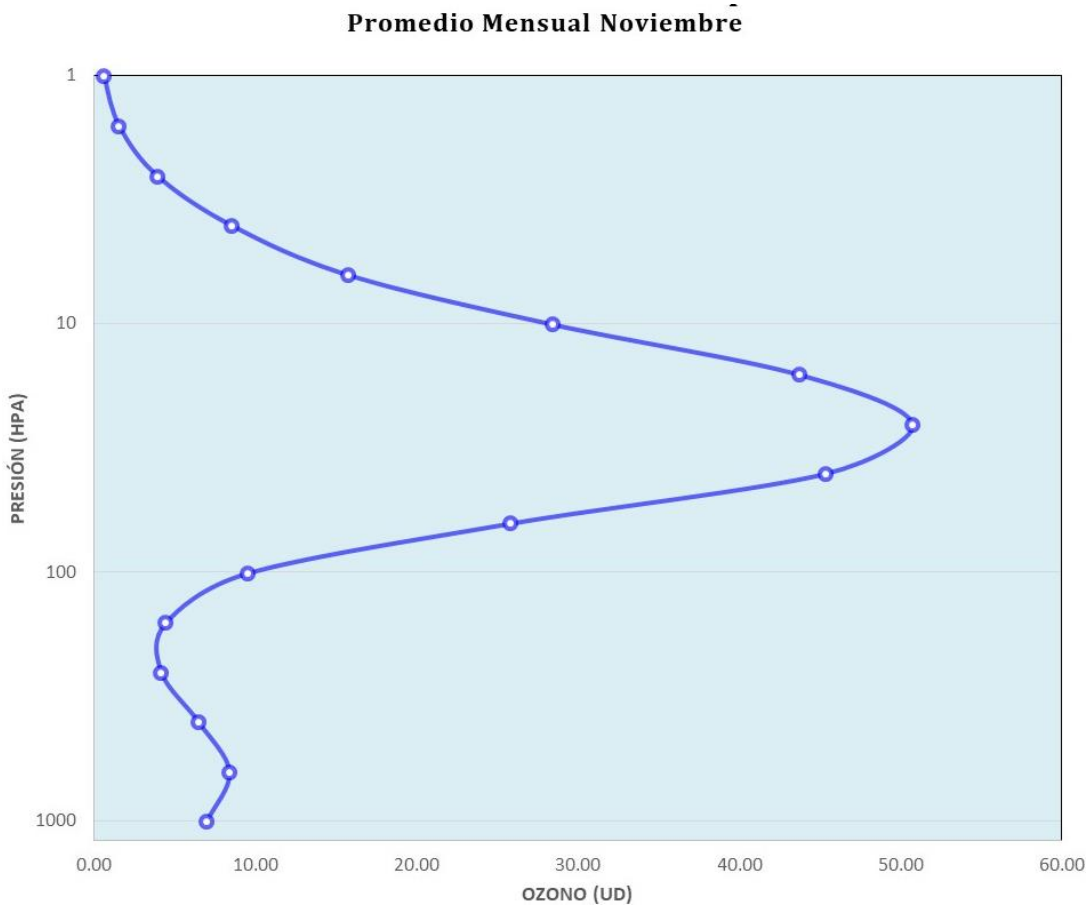
A nivel de tropósfera generalmente, las concentraciones de ozono disminuyen con la altura, para luego a nivel de estratósfera sufrir un incremento ostensible debido al incremento de la temperatura. En la estratósfera alta empiezan a disminuir en forma paulatina. El gráfico presentado es para remarcar 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. Las concentraciones mayores la encontramos en la media estratósfera con valores entre 25 UD a 50 UD.

\*\*\*\*\*



**FIGURA N°5**

Perfil vertical de ozono atmosférico – OVA Marcapomacocha  
Fuente: National Aeronautics and Space Administration – NASA



Según información de perfil vertical de ozono atmosférico para un día típico del mes de noviembre (día 19) 2024 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones ligeramente menores al mes pasado (debidas al establecimiento de la estación astronómica), cuyos valores han oscilado entre 11 UD y 22 UD, entre la baja y media estratósfera (el área de cobertura latitudinal de estas concentraciones bajas se dio entre 25N°-70°N). A partir del 21 de setiembre, dicho hemisferio, se encuentra en la estación de otoño, registrándose aún concentraciones entre altas y moderadas de ozono en latitudes bajas y altas con tendencia a disminuir, debido al incremento de humedad atmosférica, así como a la influencia de los vientos mayormente zonales sobre dichas latitudes. Por otro lado, el régimen de temperatura en la estratósfera baja y media empieza a disminuir, pero muy ligeramente.

Hay que tener presente que, en la región tropical, se forma la mayor cantidad de ozono siendo incluso mayores a los formados en latitudes medias y altas de ambos hemisferios, pero debido a factores de circulación regional como el de

\*\*\*\*\*

Brewer-Dobson, la Oscilación Quasi Bienal, así como de procesos de reacciones fotoquímicas y térmicas, en la estratósfera media son redistribuidas hacia latitudes medias y altas de ambos hemisferios, permitiendo una disminución de la misma. El problema se ahonda cuando se registra mayor contenido de humedad, especialmente cuando se inicia la temporada de lluvias entre los meses de noviembre y marzo.

Se debe mencionar que la altura de las concentraciones de ozono (12 UD a 25 UD) en latitudes bajas del hemisferio norte fue de 70 hPa y 10 hPa, mientras que en latitudes bajas del hemisferio sur (23 UD a 13 UD) la altura fue de 80 hPa y 8 hPa. En latitudes medias del hemisferio sur más bien se registraron concentraciones altas con valores entre 20 UD y 30 UD, pero a una altura entre 120 hPa y 10 hPa. La altura tanto en latitudes bajas y medias del hemisferio sur han sido superiores al mes pasado.

En esta temporada, las concentraciones de ozono, por lo menos en esta parte de la región tropical, han registrado una ligera disminución, por factores de circulación de vientos variables (zonales negativos y cuasi meridionales a nivel de 70 hPa), así como por efecto de un ligero incremento en las concentraciones de vapor de agua propios de la estación así como por los que fueron emitidas por el volcán submarino Hunga Tonga en enero de 2022 así como la adición de humedad por efecto del inicio del periodo lluvioso en el hemisferio austral.

Para el caso de nuestro país, concentraciones de ozono relativamente bajas se han registrado entre los 60 hPa y 10 hPa con valores entre 12 UD y 22 UD, especialmente en la región central y sur del país, mientras que, en la sierra norte, las concentraciones oscilaron entre 13 UD y 23 UD a una altura de 60 hPa y 8 hPa.

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 físico-químicos. En la estación de verano estos procesos son intensos debido al incremento de la actividad solar, mientras que en invierno disminuyen.

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 aunados últimamente con el incremento del vapor de agua, debido a la consideración descrita en párrafos anteriores. Figura 6.

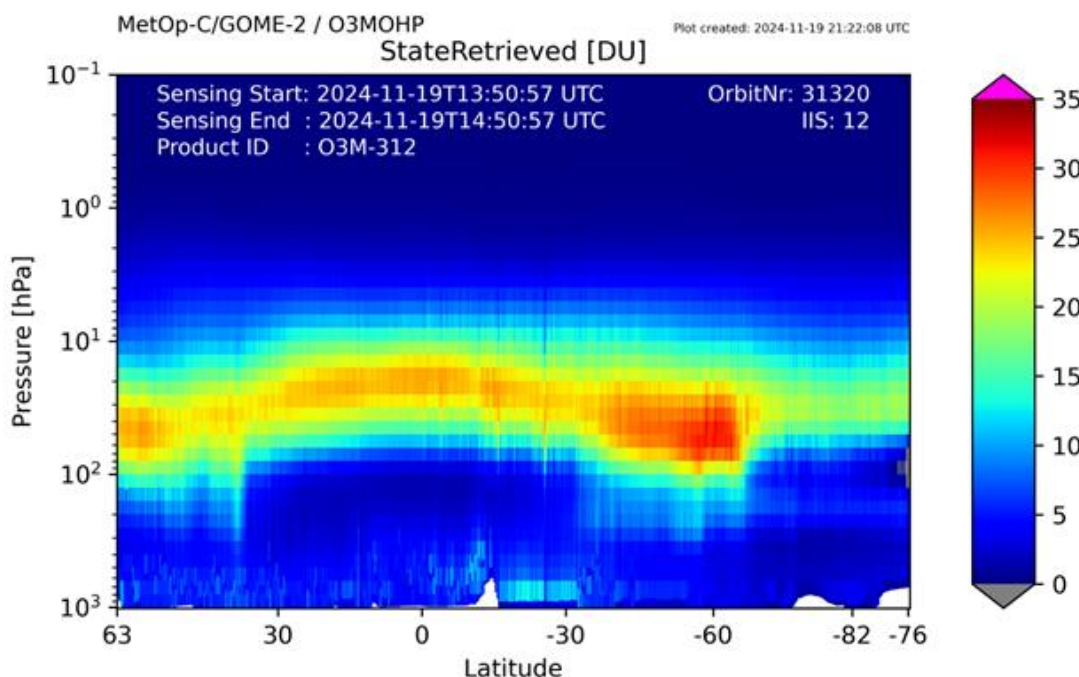
Cabe mencionar que a la fecha se ha registrado en la región tropical, una circulación de viento variable, los cuales han provenido del oeste, sur, sureste, este y rara vez del norte, por lo que las concentraciones de ozono han

\*\*\*\*\*

disminuido, pero ligeramente. En el hemisferio norte, se ha seguido observando una circulación que en cierta manera a “encapsulado” este gas, los cuales han mostrado concentraciones de ozono con una tendencia a la disminución con respecto a los del hemisferio sur. Por otro lado, se debe mencionar que dicho hemisferio va ingresando a un periodo más frío, motivo por el cual tanto los procesos físicos como químicos llegan a tener una menor actividad fotoquímica permitiendo una paulatina disminución en las concentraciones de ozono.

**FIGURA N°6**

Perfil Vertical de Ozono según GOME-2  
Fuente: Metop-C/GOME-2



**VAPOR DE AGUA A 46 hPa**

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.

En función a lo mencionado, se debe tener conocimiento, 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 los efectos, en las concentraciones de ozono, se vean con el transcurrir de años, aunque ya hay indicios en el adelanto o retraso de la aparición del vórtice polar

\*\*\*\*\*

(hemisferio sur), así como variaciones en las concentraciones de ozono en la región tropical.

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 tropósfera y enfriamiento en la estratósfera y esto permitiría un cambio en las concentraciones de ozono y por ende su impacto en el balance de transferencia radiativa.

A nivel global continúa la disipación del periodo cálido (aunque todavía quedan remanentes) vivido desde el año 2023 hasta la fecha los cuales permiten tener almacenado calor en la atmósfera y por ende concentraciones moderadas de humedad relativa, los cuales tienen repercusión en las concentraciones de ozono. Para el caso de nuestro país las condiciones atmosféricas van ingresando a una etapa menos cálida debido a factores meteorológicos, así como los oceanográficos los cuales interactúan entre sí y llegan a condicionar el régimen térmico a nivel de alta tropósfera como de baja estratósfera.

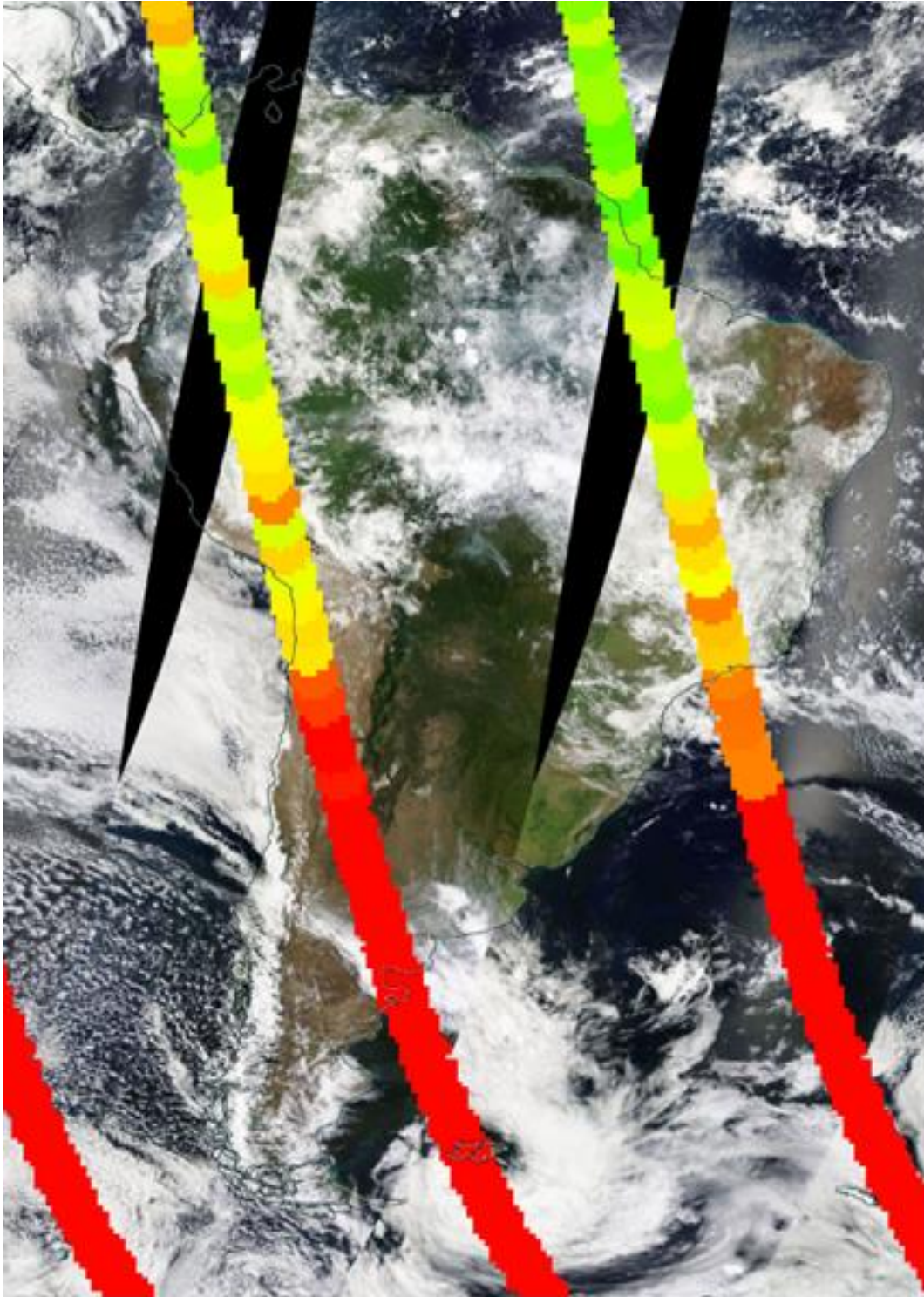
En la figura 8 se observa un mapa con concentraciones de vapor de agua a nivel de 46 hPa (límite entre la estratósfera baja y media) para un día típico del mes (15 noviembre 2024), obtenida de la Earth Data de la National Aeronautics Space Administration - NASA. En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua relativamente moderadas (algo superior al mes anterior con una tendencia a continuar incrementándose). Por ejemplo, en la región norte del país las concentraciones oscilaron entre 3.43 ppmv a 3.60 ppmv, mientras que en la región central valores entre 3.48 ppmv y 3.70 ppmv. En el lado de la región sur del país, concentraciones entre 3.85 ppmv y 4.15 ppmv. Tal como se observa, la concentración de humedad se ha incrementado ligeramente permitiendo en cierta manera la disminución de las concentraciones de ozono atmosférico.

## FIGURA N°7

\*\*\*\*\*

## Vapor de Agua a 46 hPa

Fuente: Earth Data de la National Aeronautics Space Administration – NASA



\*\*\*\*\*



Cabe señalar que la humedad relativa es la cantidad de humedad que hay en un lugar con relación a la que habría si el aire estuviera completamente saturado de humedad, expresándose en porcentaje.

Utilizando información propia de altura, se puede mencionar que la humedad relativa al nivel de 100 hPa en la región central del Perú (departamento de Junín), en el mes de noviembre fue de 34%, mientras que a nivel de 70 hPa fue de 11%, a 50 hPa fue de 2%. Finalmente, en la parte media de la estratósfera, vale decir, 30 hPa, la humedad relativa fue de 2% y a nivel de 15 hPa de 1%. El contenido de humedad en la atmósfera tuvo un ligero incremento con respecto al mes pasado, debido al mayor establecimiento de la estación astronómica generando un incremento paulatino de la temporada de lluvias en el hemisferio sur, lo cual tiene injerencia con las concentraciones de ozono que se registran en esta parte del país especialmente en la estratósfera baja.

## **COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO SOBRE EL PERÚ**

En cuanto al análisis de los mapas en forma diaria, del mes de noviembre, provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration - NASA (Figura 9), podemos mencionar que, para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico, que muestra el mapa, continúan mostrando valores menores a lo registrado en el mes de octubre, debido a la ocurrencia de flujos de viento del sur, sureste y este mayormente durante gran parte del mes. Tal como se explicó en párrafos anteriores, se registró un incremento en la concentración de humedad en la baja estratósfera como producto del mayor establecimiento del periodo de lluvias sobre nuestro país. Por el lado del Pacífico también se registraron concentraciones de ozono moderados.

A partir de la segunda quincena del mes, las concentraciones de ozono atmosférico disminuyeron, especialmente en la región central y sur del país, debido a una menor relación de mezcla de ozono, así como a una mayor actividad fotoquímica. Las concentraciones de ozono en la región sur oscilaron entre 225 UD y 250 UD.

Durante las tres primeras semanas de noviembre las concentraciones de ozono sobre gran parte de nuestro país estuvieron oscilando entre 250 UD y 275 UD, mientras que, a partir de la cuarta semana, dichas concentraciones disminuyeron, especialmente en la costa y sierra central y sur con valores que oscilaron entre 225 UD y 250 UD. La disminución de las concentraciones es típica para nuestras latitudes debido a lo explicado en párrafos anteriores. Este proceso debe continuar hasta el mes de enero aproximadamente debido a los procesos fotoquímicos que ocurren en la estratósfera baja y media principalmente, ya que

\*\*\*\*\*

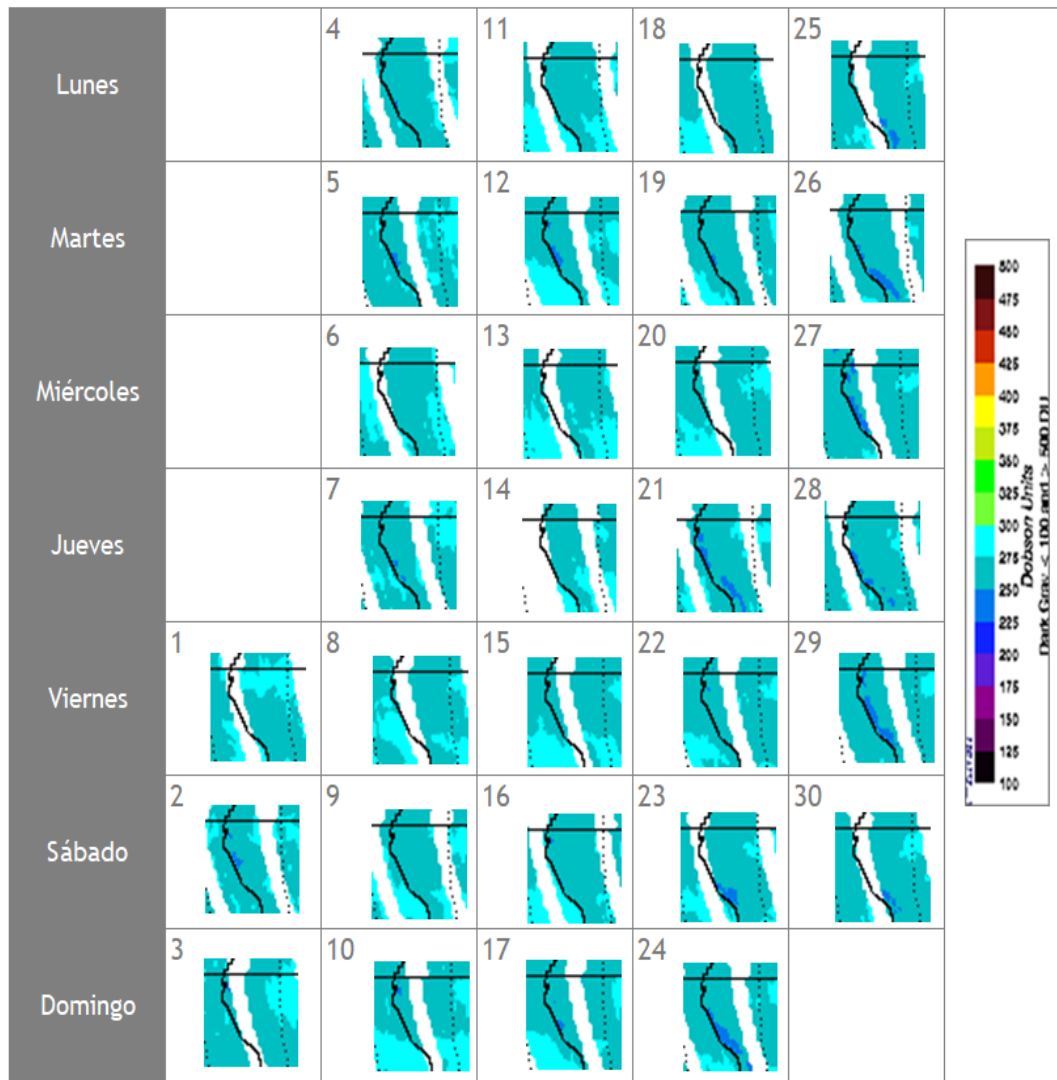
en dichas capas es donde se concentra la mayor cantidad de ozono atmosférico. El mismo comportamiento se registra en las partes altas de Bolivia (altiplano peruano-boliviano). La circulación de los vientos en la baja y media estratósfera registraron ciertas similitudes con la circulación en nuestro país.

En este mes, se registraron ingresos variables, de masas de aire a nivel de 70 hPa, tal como ya se explicó anteriormente, lo que acentuó la disminución paulatina de las concentraciones de ozono sobre nuestro país. Es importante mencionar que noviembre es el mes donde climatológicamente continúan los descensos de ozono los cuales aunados a otros factores como los meteorológicos y ambientales, se traducen en incrementos de los niveles de radiación ultravioleta.

**FIGURA N°8**

Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de noviembre 2024

Fuente: Satélite AURA



\*\*\*\*\*

## FLUJO DE VIENTOS EN LA BAJA Y MEDIA ESTRATÓSFERA

Una de las herramientas que ayuda a entender la mayor o menor concentración de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, específicamente sobre Perú es la información de viento en altura, especialmente el de la baja y media estratósfera. A la fecha se cuenta con información de viento para el mes de noviembre en la región central del país. La estación se ubica en el departamento de Junín cuyas coordenadas son latitud: 11.9562°S, longitud: 75.3217°W a una altitud de 3,311.72 m. Cabe mencionar que la información brindada nos da bases para tener una idea de la relación de mezcla que pueda existir en las diferentes capas de la estratósfera.

### BAJA ESTRATÓSFERA

El flujo de vientos en el mes de noviembre al nivel de 100 hPa fue mayormente del este, sureste y noreste, los cuales han sido influenciados por los flujos de 200 hPa y 150 hPa, con intensidades que oscilaron entre 3 m/s y 12 m/s con una persistencia de 60%. Asimismo, se registraron vientos del norte, noroeste y suroeste con una persistencia de 31% y con una velocidad entre 2 m/s y 8 m/s. En otras direcciones la persistencia fue de 9%. Cabe recalcar que climáticamente los flujos de viento en este nivel son mayormente del este y sureste.

A nivel de 70 hPa los flujos de viento fueron mayormente del noreste, sureste y este con velocidades que oscilaron entre 4.0 m/s y 12 m/s con una persistencia de 63%. En otras direcciones la persistencia fue de 37% con velocidades entre 1 m/s y 10 m/s.

En el nivel de 50 hPa los flujos de viento fueron en su mayoría del sureste y este, con una persistencia del 41% con velocidades entre 2 m/s y 11 m/s.

### MEDIA ESTRATÓSFERA

En el nivel de 30 hPa los flujos predominantes de viento fueron variables ya que se registraron vientos provenientes del oeste, norte y este con una persistencia de 76%. Las velocidades de viento oscilaron entre 1 m/s y 10 m/s. Por otro lado, en otras direcciones la persistencia fue de 26 % con velocidades de viento entre 1 m/s y 9 m/s.

Finalmente, en el nivel de 15 hPa los flujos fueron mayormente del este, sureste y noreste, con velocidades que oscilaron entre 3 m/s y 12 m/s con una persistencia de 56%, mientras que en otras direcciones la persistencia fue de 44% con vientos que superaron los 3.0 m/s hasta los 12.0 m/s.

\*\*\*\*\*

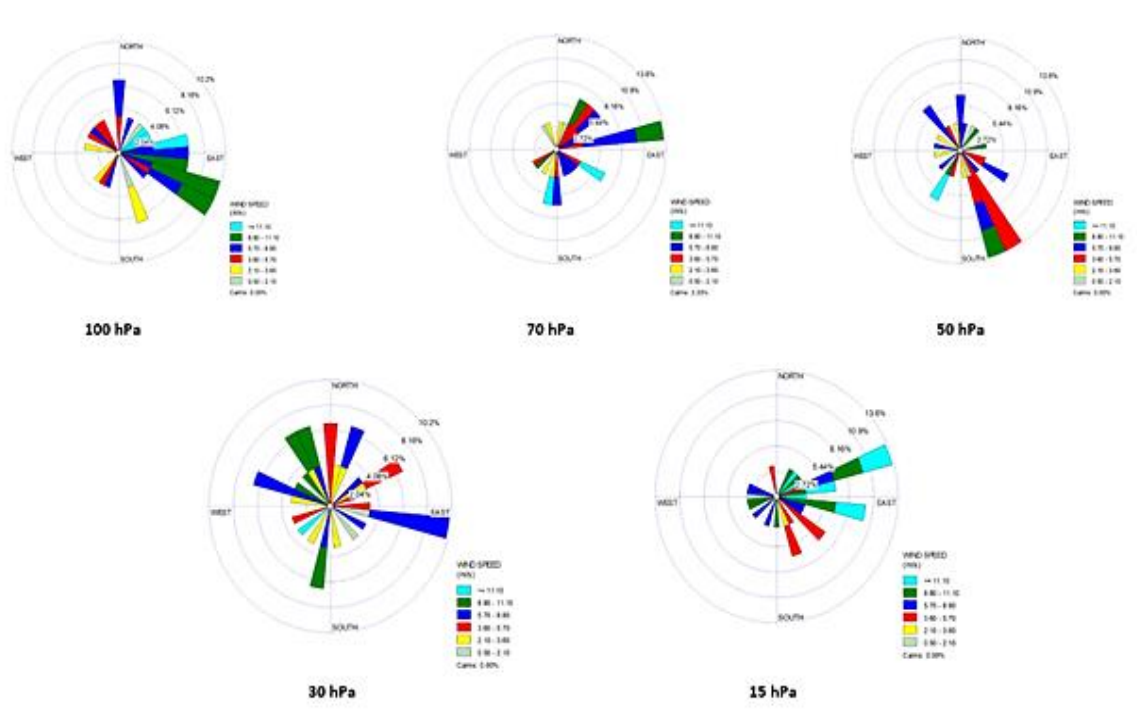
Realizando una síntesis de este análisis, se podrá observar que los vientos provenientes del primer y cuarto cuadrante son los más frecuentes en la baja estratósfera (100 hPa, 70 hPa y 50 hPa), mientras que en la media (30 hPa y 15 hPa), los vientos persistentes fueron también del primer y cuarto cuadrante con la excepción de que a nivel de 30 hPa los vientos fueron muy variables. Esta variabilidad en la dirección de los vientos, así como sus intensidades, especialmente en las capas de la baja y media estratósferas, ha permitido registrar una baja relación de mezcla de ozono por lo que las concentraciones han continuado disminuyendo en el mes de noviembre coincidiendo con la tendencia climática. Hay que remarcar que el flujo de vientos (intensidad y dirección) es muy importante en el traslado de altas o bajas concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes.

Se debe remarcar, que en este mes se registró un ligero incremento en la humedad atmosférica, los cuales en cierta manera permitieron el descenso del ozono atmosférico. La figura 2 donde los vientos son zonales negativos sustenta los bajos ingresos de ozono sobre nuestras latitudes permitiendo una disminución.

El comportamiento de vientos descrito líneas arriba se puede observar en la Figura 9.

**FIGURA N°9**

Comportamiento del viento en la baja y media estratósfera para el mes de noviembre 2024



\*\*\*\*\*

## TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATÓSFERA Y MEDIA ESTRATÓSFERA

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, así como otros fenómenos que ocurren en forma casi periódica (Fenómeno El Niño o La Niña).

En la Figura 10 se muestra la distribución temporal de la temperatura desde el mes de enero 2023 hasta el mes de noviembre 2024, al nivel de 70 hPa y entre las latitudes 25°S - 25°N, obtenido de la National Weather Service de la National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA.

Durante los días de registro, la temperatura en ese nivel (línea de color rojo), ha registrado una tendencia a la estabilización, en un inicio, para luego continuar con una tendencia al descenso (enfriamiento), pero acercándose e incluso a partir de la segunda quincena, estar por encima de sus valores climáticos, tal como muestra la figura, permitiendo una cierta reducción en las concentraciones de ozono atmosférico en dicha franja tropical (cabe mencionar que dicho decremento ha sido moderado). Debido al comportamiento térmico del aire en ese nivel, las concentraciones de ozono, en nuestro país, lograron registrar valores inferiores a nivel diario (especialmente los valores extremos), con una tendencia a continuar registrando concentraciones cada vez menores hasta el mes de enero del siguiente año. Se debe remarcar que, durante el mes de noviembre, las temperaturas, observadas en las capas bajas de la estratósfera continúan por debajo, con excepción de las capas de 70 hPa y 50 hPa, donde estuvieron por encima de sus valores normales. La tendencia a lo largo de los meses venideros es a seguir disminuyendo, mientras que, en la estratósfera alta, el régimen térmico tuvo un comportamiento al ascenso (a partir de la segunda quincena) permitiendo la formación de ozono, pero en cantidades menores.

La variabilidad de la concentración de ozono en el nivel de 70 hPa, 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, la Oscilación Quasi Bienal, así como a circulaciones de viento regionales a nivel de alta atmósfera. Se agrega el impacto que tuviera la concentración de vapor de agua debido a la erupción del volcán submarino Hunga Tonga en enero del 2022, ya que permite enfriar la atmósfera en ese nivel afectando las

\*\*\*\*\*

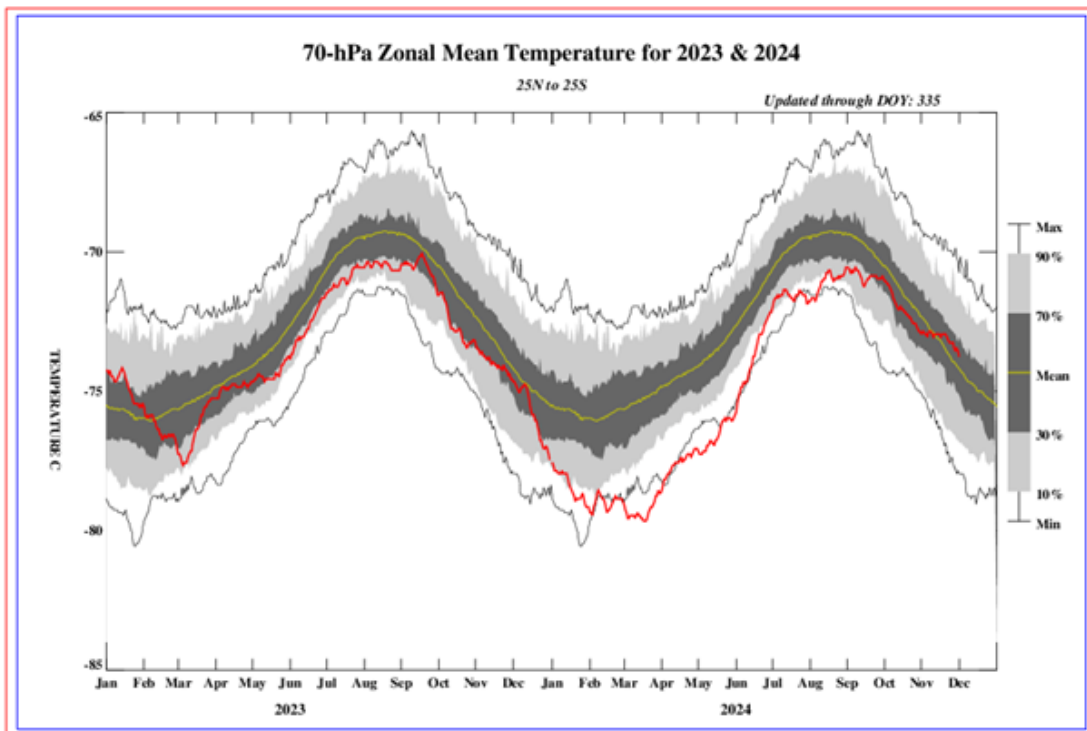


concentraciones de ozono atmosférico. Por otro lado, hay que destacar el impacto que tiene la emisión de sustancias agotadoras de ozono (elementos sustitutos) hacia la atmósfera por parte del factor antropogénico. Se debe tener presente que, por lo general, un aumento (físico) de la temperatura en la atmósfera alta, está ligada con un aumento de las concentraciones de ozono y viceversa, los cuales tienen causas, valga la redundancia, físicas y químicas. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel y para este mes es de  $-72.5^{\circ}\text{C}$ , mayor en valor numérico al mes pasado, pero físicamente “menos cálido”. La temperatura calculada en este mes, fue de  $-73.0^{\circ}\text{C}$ .

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, el promedio mensual registrado en superficie fue de 244.4 UD, menor al mes anterior.

**FIGURA N°10**

Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de noviembre 2024  
 Fuente: National Weather Service, Climate Prediction Center (Web Site)



Considerando la información de temperatura de la baja y media estratósfera, proveniente de la estación de altura de Junín, podemos decir lo siguiente: La temperatura a nivel de 100 hPa promedio mensual fue de  $-79.3^{\circ}\text{C}$ , mientras que a nivel de 70 hPa fue de  $-73.7^{\circ}\text{C}$ , valores relativamente distantes con una diferencia entre ellas, de  $5.6^{\circ}\text{C}$ . Entre las dos capas existe aproximadamente una distancia de 2 km permitiendo que haya una estrecha relación entre el límite de

\*\*\*\*\*

la alta tropósfera y la baja estratósfera en cuanto a intercambio de energía, especialmente en esta parte de la región tropical. Ver Figura 11.

A nivel de 50 hPa, la diferencia es más notoria con una temperatura promedio del mes de  $-64.4^{\circ}\text{C}$  (menor al mes anterior).

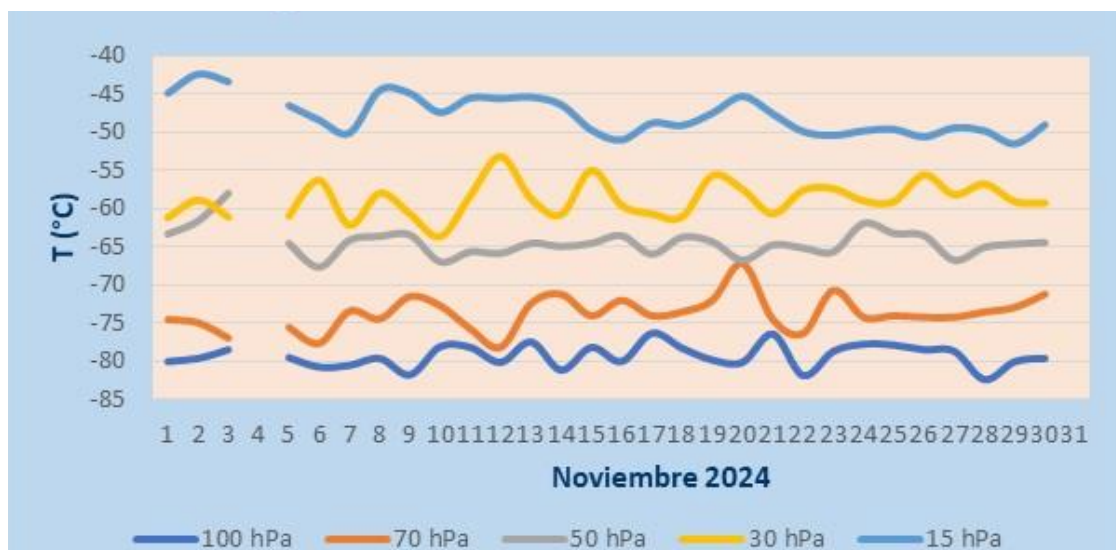
En la media estratósfera, a 30 hPa, la temperatura promedio registrada fue de  $-58.7^{\circ}\text{C}$  (valor similar al mes pasado) para finalmente, a 15 hPa, la temperatura fuera de  $-47.8^{\circ}\text{C}$  (ligero calentamiento comparado al mes anterior). La relación de mezcla de ozono en esta capa ha sido baja.

Cabe destacar que la temperatura promedio mensual a nivel de 70 hPa obtenida por la NOAA ( $-73.0^{\circ}\text{C}$ ) y la obtenida por un equipo de altura ( $-73.7^{\circ}\text{C}$ ), valores relativamente cercanos. Hay que tener en cuenta que la información de NOAA es promedio de la faja  $25^{\circ}\text{N}$  y  $25^{\circ}\text{S}$ , mientras que el registrado en la región central del país es puntual.

En ese sentido, la tendencia del régimen térmico durante el mes, fue por lo general a un decremento (proceso físico “frío”).

### FIGURA N°11

Régimen térmico en la baja y media estratósfera de Junín



El comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur en un día típico de noviembre, es mostrado en la Figura 12 (University of Wyoming) en donde se aprecia que las temperaturas, específicamente, en el continente Antártico han registrado valores entre  $-70^{\circ}\text{C}$  a  $-75^{\circ}\text{C}$ , debido a condiciones relativamente “cálidas” debido a la disminución del vórtice polar, cada vez con menor intensidad y cobertura espacial. Las

\*\*\*\*\*

temperaturas en dicho continente paulatinamente registrarán un ascenso debido al acercamiento de la estación de verano.

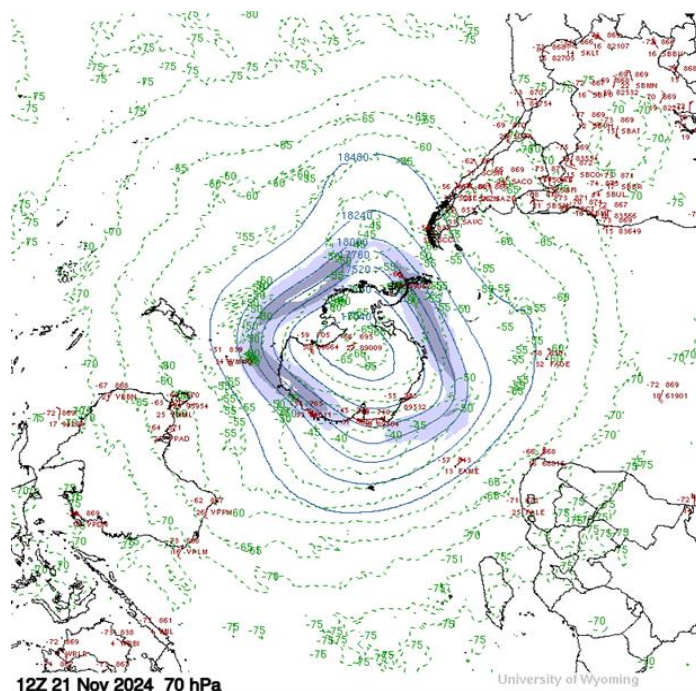
La posición de la tierra con respecto al sol (inclinación con respecto al plano ecuatorial) juega un papel importante en los procesos físico-químicos de la atmósfera. Asimismo, es importante señalar que aparte del factor astronómico, una disminución de la temperatura en ese nivel de la estratósfera (70 hPa) de la región tropical, se encuentra relacionada con una disminución en las concentraciones de ozono.

En latitudes bajas (20°N - 20°S), las temperaturas en este mes, en la atmósfera alta (baja estratósfera), ha registrado en un primer momento (primera quincena) condiciones estables para luego registrar valores por encima de sus normales climáticas (segunda quincena), pero con una tendencia a la disminución. Los procesos de transferencia radiativa se incrementarán en forma paulatina a medida que nos acerquemos a la estación cálida.

Para el caso de nuestro país las temperaturas en el nivel de 70 hPa, según el gráfico mostrado, ha registrado un valor de -75.0°C, proceso físico menor comparado al mes pasado, más “frío”, siendo uno de los factores para que las concentraciones de ozono atmosférico, en esta capa, hayan registrado una tendencia al descenso debido a circulaciones de viento variables, así como a una baja relación de mezcla de ozono atmosférico y alta actividad fotoquímica.

**FIGURA N°12**

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (21 noviembre 2024)



Fuente: Universidad de Wyoming

\*\*\*\*\*

### III. CONCLUSIONES

1. El mes de noviembre se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono sobre nuestro país (los medidos en superficie) continúan con el proceso de disminución. El valor registrado, en este mes, fue de 244.4 UD como valor promedio. Este valor ha sido inferior a lo obtenido el mes pasado y permite concluir que las concentraciones de ozono durante este mes, fueron relativamente bajas debido mayormente a la presencia de los vientos cuasi zonales negativos, con excepción del nivel de 70 hPa donde fueron variables (vientos del oeste, sur, sureste, este y muy esporádicamente del norte), los cuales fueron de moderada intensidad, aunado a un ligero incremento en concentraciones de vapor de agua, especialmente en la capa de 100 hPa y 70 hPa, en la sierra central como consecuencia del establecimiento del periodo lluvioso sobre esta parte del continente afectando la tropósfera alta y baja estratósfera.
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 239.0 UD a 249.3 UD, límites inferior y superior, ligeramente inferiores al mes anterior. Este decremento, está ligado al menor traslado de concentraciones de ozono hacia nuestras latitudes por efecto de una menor relación de mezcla y un incremento en el vapor de agua, especialmente en la estratósfera baja. Debido a este proceso las temperaturas en ese nivel disminuyeron.
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 noviembre, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical del hemisferio sur, se registró entre los 80 hPa y los 8 hPa (baja y media estratósfera) con valores que oscilaron entre 13 UD y 23 UD (ligeramente menor al mes anterior), mientras que en latitudes medias del hemisferio sur, la altura de las máximas concentraciones se dieron entre los 120 hPa y 10 hPa con valores entre 20 UD y 30 UD. La variabilidad en las concentraciones de ozono de este mes con respecto al de octubre, ha sido influenciada principalmente por la variabilidad en la circulación de los vientos, así como por el régimen térmico (tendencia al descenso).
4. El registro de concentraciones de ozono atmosférico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, casi se han mantenido de acuerdo a los valores registrados entre 11 UD a 22 UD, entre la alta tropósfera y media estratósfera (70°N - 25°N). Durante el mes de noviembre se registraron procesos físicos de moderada relación de mezcla de ozono de latitudes medias a altas, influenciados por el vórtice polar ártico, el cual permitió

\*\*\*\*\*

una disminución del ozono atmosférico. A partir de la segunda quincena del mes se incrementaron las concentraciones de ozono debido a circulaciones de viento regionales. A este proceso se aúna la Oscilación Quasi Bienal (QBO) así como el impacto que ejerce la circulación Brewer-Dobson en esta parte del hemisferio.

5. 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 observó un ligero incremento en la región central con valores entre 3.48 ppmv y 3.70 ppmv), mientras que en la región sur osciló entre 3.85 ppmv a 4.15 ppmv (ligeramente mayor al mes de octubre) para finalmente en la región norte, concentraciones entre 3.43 ppmv y 3.60 ppmv (condiciones similares al mes pasado). Cabe resaltar que concentraciones mayores, afectan grandemente el comportamiento espacial y temporal del ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, permitiendo una menor concentración.
6. De acuerdo a la información real de viento obtenida para las diferentes capas de la estratósfera baja y media se concluye que uno de los factores que ha permitido la disminución de las concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes, específicamente sobre nuestro país, han sido los vientos generalmente del este, los cuales fueron de intensidad moderada, principalmente en la estratósfera baja.
7. Los mapas de ozono total atmosférico (provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration - NASA), muestran el comportamiento de ozono en nuestro país, ligeramente menores al mes pasado, especialmente en la región central y sur (costa y sierra), con valores que oscilaron entre 225 UD y 250 UD, especialmente a partir de la cuarta semana del mes. Los factores que determinaron el registro de estas concentraciones bajas fueron del tipo térmico, humedad y viento.
8. En lo que concierne al comportamiento del régimen térmico en la baja estratósfera (70 hPa) considerando la faja 20°N - 20°S, se puede mencionar que el mes de noviembre, se caracterizó por registrar valores menores al mes pasado (propios de su climatología), con una cierta estabilización durante la primera quincena, mientras que en la segunda quincena estuvieron por encima de sus valores climáticos, pero siempre con una tendencia a continuar disminuyendo.
9. Debido a que noviembre es considerado como un mes donde el régimen térmico continúa disminuyendo principalmente en la baja estratósfera de la región tropical, esto trae como consecuencia también una disminución

\*\*\*\*\*



de las concentraciones de ozono aunados a otros factores como la circulación de los vientos y el bajo aporte de ozono a través de la relación de mezcla y a la mayor actividad fotoquímica.

10. Debido al comportamiento de la temperatura en las diferentes capas de la estratósfera, realizadas con equipos de altura sobre la sierra central del Perú (departamento de Junín), se concluye que prácticamente en todas ellas se ha continuado registrando un enfriamiento ligero, con excepción de la capa de 30 hPa donde se registró un valor similar al mes pasado, debido al flujo de vientos con aporte de ozono similar al mes de octubre.
11. 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. Vannia Aliaga Nestares  
[valiaga@senamhi.gob.pe](mailto:valiaga@senamhi.gob.pe)

**Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico:**  
Ing. Elvis Medina Dionicio  
[eamedina@senamhi.gob.pe](mailto:eamedina@senamhi.gob.pe)

**Análisis y Redacción:**  
Ing. Orlando Ccora Tuya [occora@senamhi.gob.pe](mailto:occora@senamhi.gob.pe)  
Bach. Juan Tacza Ordoñez  
Tco. Rosalinda Aguirre Almeyda  
Tco. Julia Astudillo Capcha

**Suscríbete para recibir la edición digital al enlace:**  
<https://forms.gle/cqZit9WHG7gLktbT6gle/cqZit9WHG7gLktbT6>

**Próxima actualización: 15 de enero de 2025**

**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**

