

Diciembre 2025
vol. 12

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



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

Introducción

La emisión de gases que contienen cloro y bromo (gases fuentes de halógenos) son la causa de la destrucción de la capa de ozono debido a la actividad humana. Estos gases se acumulan en la atmósfera baja y son transportados por el viento y otros movimientos de aire.

En la estratósfera, dichos gases sufren rápidamente conversiones químicas gracias a la radiación solar ultravioleta y se convierten en gases de halógenos reactivos que, a su vez, reaccionan con el ozono destruyéndolo (agotamiento de la capa de ozono).

Las sustancias agotadoras de la capa de ozono se clasifican según su capacidad de destruir el ozono estratosférico o Potencial de Agotamiento de Ozono (PAO). Las formas más reactivas de gases de halógeno reactivos que se encuentran en la estratósfera son el monóxido de cloro (ClO) y el monóxido de bromo (BrO).

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 (CO₂) (gas de efecto invernadero) y carbono negro (hollín).

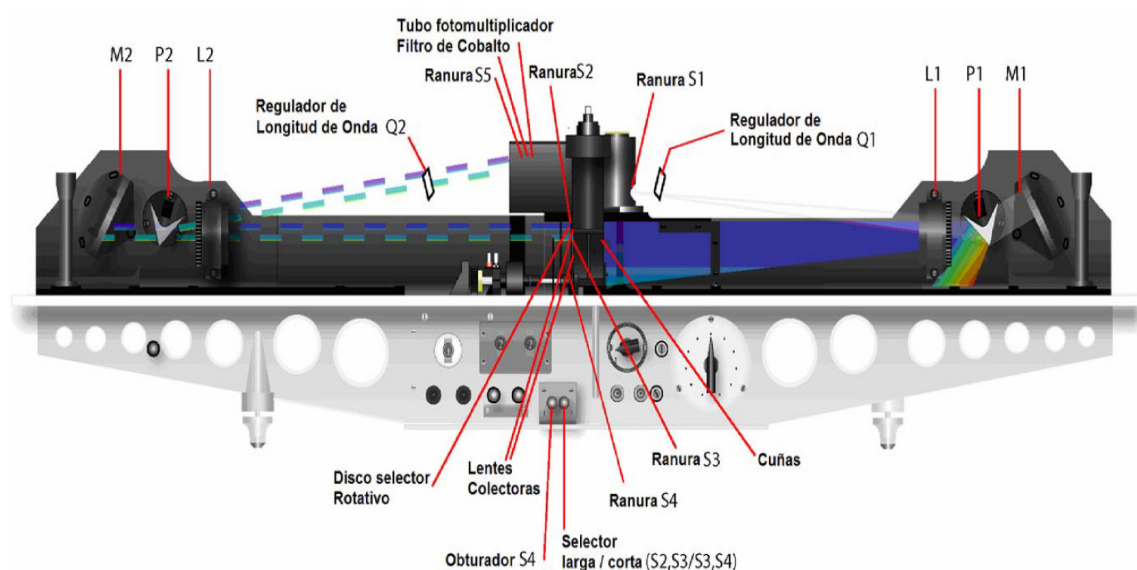
I.- CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

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.

En el mes de diciembre, la estratósfera baja de la región tropical ha registrado características térmicas con una tendencia al enfriamiento, continuando por debajo de sus valores climáticos, especialmente en la capa de 70 hPa donde los valores estuvieron alejados a sus normales, debido a un ligero incremento de las concentraciones de vapor de agua, así como a los flujos de viento del este. A su vez en la estratósfera media también se registraron valores aún por debajo de sus valores climáticos, con tendencia a un menor enfriamiento térmico en el nivel de 30 hPa y más bien un mayor enfriamiento en el nivel de 10 hPa En la estratósfera alta, el régimen térmico ha continuado por debajo de sus valores normales, pero con tendencia a continuar enfriándose. En superficie, las concentraciones de ozono registraron valores inferiores al mes pasado, a nivel promedio mensual, mientras que en lo que respecta a valores extremos, también presentaron cierta tendencia, los cuales han estado asociados mayormente a una disminución de la temperatura del aire en la estratósfera baja (70 hPa), así como también, al continuo ingreso de vientos del este o zonales negativos, desde latitudes bajas del hemisferio sur, hacia nuestras latitudes. La relación de mezcla de ozono, registró nuevamente un descenso con respecto al mes anterior, el cual también ayudó a que las concentraciones de ozono atmosférico promedios del mes, continúen disminuyendo.

En lo que respecta específicamente al flujo de vientos, éstas tuvieron un comportamiento con tendencia procedente del primer, segundo y cuarto cuadrante ósea, del noroeste, norte, noreste, este y sureste, aunque en la parte alta a nivel de 50 hPa se ha registrado una tendencia hacia el este mayormente (similar al mes anterior), mientras que en la estratósfera media fueron netamente del este (primer y cuarto cuadrante). Al igual que en la capa anterior, en la estratósfera alta los flujos también fueron prácticamente del primer y cuarto cuadrante o sea del este En ese sentido, en la estratósfera baja es donde se realizaron escasos aportes de ozono atmosférico, con tendencia a la disminución, hacia nuestras latitudes.

En el caso de la alta tropósfera, los sistemas atmosféricos paulatinamente sufren algunos cambios debido al inicio de la estación astronómica del verano austral, desde el 21 de diciembre, así como al mayor desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Sur hacia el sur, la influencia y formación paulatina de la Ata de Bolivia, los cuales han permitido el traslado de cantidades de humedad hacia nuestro país, ocasionando una incidencia en el comportamiento del ozono atmosférico, por lo menos en la baja estratósfera. Se debe señalar que las tormentas tropicales generan ozono atmosférico. El inicio del periodo cálido permitirá que se continúe con la disminución de los niveles de ozono

.....

en esta parte de la región, aunados con el incremento de la humedad atmosférica para dar paso a condiciones húmedas, entre la alta tropósfera y baja estratósfera, procesos que continuarán a lo largo del verano y parte del otoño. La convección húmeda mínima ha continuado registrándose, como hace varios meses, en la región norte del país (específicamente en los departamentos de Tumbes y Piura) debido a la invasión de masas de agua cálidas provenientes del hemisferio norte como producto de la disminución en intensidad de los vientos alisios, los cuales han sido frecuentes en gran parte del mes, pero con moderada intensidad, presentando incidencias no solo en la circulación de los vientos de la atmósfera baja y media sino también en la atmósfera alta. Se debe tener presente que estos procesos, así como el incremento de la humedad atmosférica en la baja y media estratósfera (100 hPa hasta 10 hPa) llegan a tener repercusión en las propiedades físicas (radiativas) y químicas de dicha capa, permitiendo obtener valores de ozono atmosférico cada vez menores al mes pasado, con tendencia a continuar disminuyendo, aunados también a la circulación de los vientos del este en dichas capas.

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).

Es importante tener en cuenta que esos regímenes de circulación, así como los procesos que involucran la temporada cálida austral, interactúan entre sí en las diferentes capas de la atmósfera, permitiendo un incremento en el transporte de calor o energía. En ese sentido, se analiza la capa de 70 hPa (día 23 de diciembre) dado de que es representativa de la baja estratósfera. A lo largo del mes, climáticamente sobre nuestras latitudes, las concentraciones de ozono han empezado a disminuir, debido a la aparición de vientos zonales negativos mayormente, los cuales aportan menos concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes. Durante, el mes de diciembre de 2025, los vientos han sido mayormente del primer y cuarto cuadrante, ósea han provenido del noreste, este y sur este en la estratósfera baja, para luego ser netamente del este, en la estratósfera media, con temperaturas (estratósfera baja) ligeramente mayores (en valor numérico) al mes anterior,

pero con condiciones más frías, propios de la estacionalidad. Cabe mencionar que también se registraron vientos bastante esporádicos del suroeste, los cuales aportaron cantidades muy bajas de ozono atmosférico. En este mes se registraron dos núcleos anticiclónicos, uno en el Pacífico y otro entre el continente sudamericano y el Atlántico, los cuales no han permitido la invasión de masas de aire con concentraciones altas de ozono.

En latitudes medias y altas del hemisferio sur, la circulación de vientos ha continuado siendo zonal positivo (70 hPa), pero de alta intensidad, aportando concentraciones de ozono altas a moderadas, mientras que, en latitudes altas, la desaparición paulatina del vórtice polar ha permitido más bien que se incremente.

En cuanto al régimen térmico (latitudes 25°N - 25°S), se puede señalar lo siguiente: en la estratósfera baja se ha observado comportamientos con tendencia a la disminución con registros aún por debajo de sus valores normales como en el caso de la capa de 100 hPa, mientras que, en la capa de 70 hPa, se han comportado relativamente cercano a sus valores climáticos con una tendencia a mantener los mismos, pero siempre por debajo de sus normales (parecido al mes anterior). Los causales son el paulatino incremento de la humedad atmosférica, debido al inicio de la estación de verano, así como una disminución de la relación de mezcla. Los niveles de 30 hPa y 10 hPa (estratósfera media) registraron una tendencia al enfriamiento, especialmente en el de 10 hPa, pero siempre por debajo de sus valores climáticos. Para el caso de los niveles de 5 hPa, 2 hPa y 1 hPa, el comportamiento estuvo bastante marcado, también muy por debajo de sus valores climáticos, pero con tendencia al enfriamiento. Debido a este comportamiento de la estratósfera, las concentraciones de ozono lograron registrar valores inferiores a nivel promedio mensual, con respecto al mes anterior, en la región tropical, el cual estaría relacionado por la ocurrencia de menor mezcla de ozono atmosférico, así como un ligero incremento de la humedad, tal como se ha mencionado en líneas anteriores. El comportamiento térmico en la baja estratósfera estaría relacionado por la presencia de vientos mayormente del primer, segundo y cuarto cuadrante (similar al mes de noviembre). En la estratósfera media todos los flujos de viento fueron del este con temperaturas aún por debajo de sus valores climáticos. En el caso de Perú, de acuerdo a la información de superficie, las concentraciones de ozono en este mes han registrado, valores ligeramente inferiores al mes de noviembre (a nivel promedio mensual), con una tendencia a continuar disminuyendo (comportamiento climático). Tanto los valores mínimos y máximos diarios de ozono sobre nuestro país, en este mes, fueron inferiores, manteniendo el mismo comportamiento del valor promedio mensual. La amplitud entre dichos valores en diciembre, han oscilado entre 11 UD a 12 UD. Figura 3.

Con el fin de sustentar lo descrito a nivel de baja estratósfera, podemos mencionar que, de la vigilancia realizada en el mes de diciembre 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 236.9 UD y 248.3 UD (UD = Unidades Dobson). Como se mencionó anteriormente, el nivel promedio mensual fue inferior.

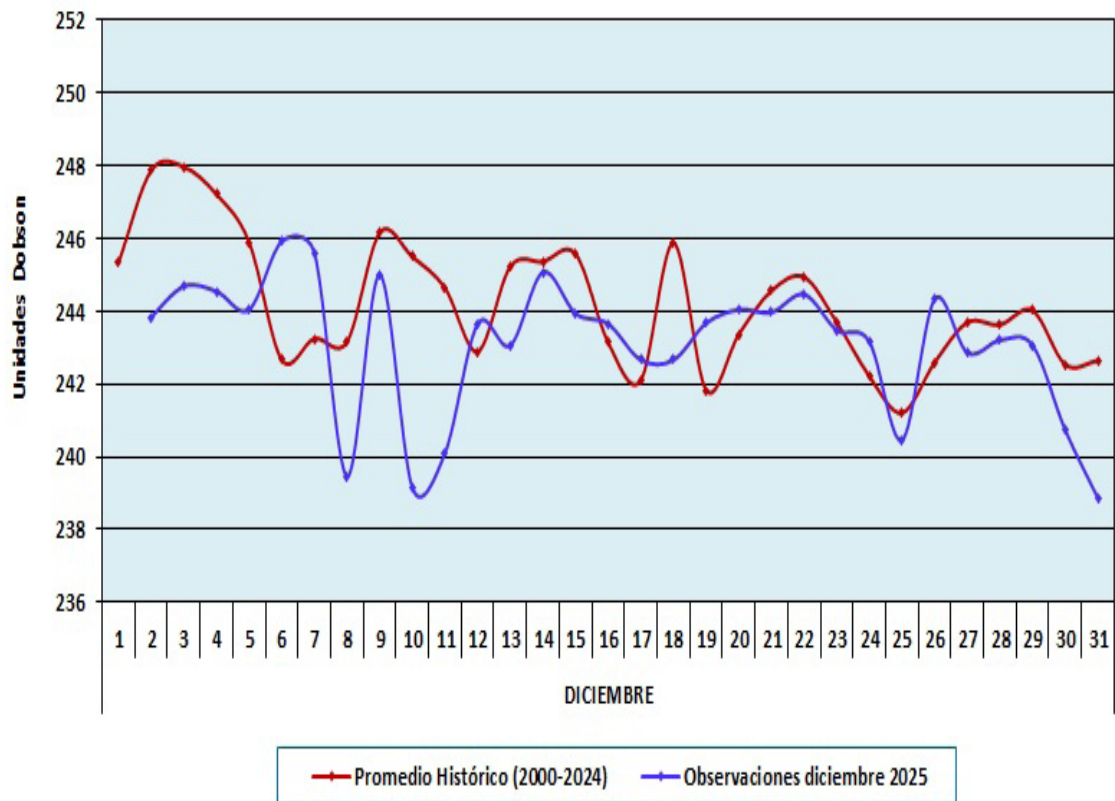
Es importante mencionar que en las primeras horas del día las concentraciones de ozono son relativamente altas debido al ozono acumulado en horas de la noche (en diciembre, climáticamente, se registran valores de ozono inferiores a noviembre) y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía 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 durante el día).

Este proceso físico, se enmarca en que durante las primeras horas de la mañana la incidencia de la radiación ultravioleta, en esta temporada, tiende a mantener valores algo menores, por ende las concentraciones de ozono serán relativamente moderadas (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 Muy Altos a Extremadamente altos en el mes de diciembre (en los meses de verano son mucho 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 mantenido valores similares al mes pasado, tanto a nivel promedio mensual como de los máximos a pesar de haberse iniciado la estación de verano, con condiciones de cielo entre nublado y cubierto, mayormente en la región andina central. La cantidad de aerosoles ha mostrado una tendencia similar, debido a la escasa cobertura nubosa por efecto de vientos provenientes del oeste en niveles altos de la tropósfera y baja estratósfera, aunque en algunas regiones se ha mantenido con cielo despejado con baja cantidad de aerosoles. Se espera que en el mes siguiente dichos valores de radiación, se lleguen a incrementar debido a la estacionalidad.

estuvieron un 70% por debajo de sus valores climáticos, mientras que un 30% por encima (hubo un desfase de hasta 6 UD entre el valor histórico y el registrado durante este mes).

Cuando se comparan ambas series se ha venido observando, como siempre, un comportamiento variable, con valores que en algunos momentos se acercan a sus normales, como en el caso del 11 al 30 de diciembre donde los valores medidos, se acercaron a sus normales, mientras que en el periodo del 01 al 10 de diciembre fueron variables, atribuibles probablemente por los cambios en los flujos de viento, los cuales han sido mayormente del primer, segundo y cuarto cuadrante en toda la estratósfera aunados al impacto de 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. Las concentraciones de ozono sobre nuestro país, con respecto al mes de noviembre ha registrado una disminución.

FIGURA N° 3
Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Diciembre 2025.



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 243.1 UD inferior en 1.3 UD al promedio mensual multianual (244.4 UD).

Se debe tener presente que, en la región tropical durante los meses de la estación de primavera, vale decir desde el 21 de setiembre hasta el 21 de diciembre, las concentraciones de ozono tienden al descenso (climáticamente), en un primer momento, debido a factores astronómicos, así como a procesos de la circulación a nivel de estratósfera baja y media (vientos del este, sureste, noreste y noroeste mayormente, así como una moderada a baja relación de mezcla) y una alta actividad fotoquímica. Por otro lado, 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 (los más bajos del año) en latitudes bajas (mes de enero, así como 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 diciembre, se ha empezado a registrar mayor cantidad de masas de aire provenientes principalmente del primer y cuarto cuadrante al nivel de 70 hPa, ósea vientos del sureste, este y noreste mayormente (similar al mes anterior). Asimismo, se registraron vientos de otras direcciones (pero con una persistencia muy baja), como por ejemplo del noroeste y suroeste, trasladando escasas concentraciones de ozono atmosférico, lo que, en resumidas cuentas, hicieron que se registre valores inferiores al mes anterior, sobre nuestras latitudes, con una tendencia a proseguir descendiendo en el siguiente mes.

Los procesos de advección húmeda han continuado siendo relativamente moderados en diciembre, con excepción de lo ocurrido en la zona norte del país (departamentos de Tumbes y Piura), donde se han venido registrando invasiones de masas de agua cálidas provenientes del Pacífico norte, pero de menor intensidad durante parte del mes, debido a la disminución de los vientos alisios como producto del inicio de la estación de verano. Probablemente se haya registrado algún proceso de advección húmeda tropósfera-estratósfera (regionalmente continúan registrando condiciones

.....

cálidas), así como a una baja relación de mezcla de ozono atmosférico, el cual haya sido un factor adicional para que las concentraciones de ozono hayan disminuido con respecto al mes anterior. A esto se le añade el flujo de vientos provenientes del este, sureste y noreste (a nivel de 70 hPa), los cuales han aportado concentraciones de ozono hacia nuestras latitudes, mucho menores al mes de noviembre. Un factor que interactúa con estos procesos es la humedad atmosférica, la cual ha registrado un nuevo incremento con respecto al mes pasado a nivel de estratósfera baja principalmente. En las demás capas de la estratósfera media y alta han sido más bajos (atmósfera totalmente seca).

El pronóstico, de acuerdo a la climatología, es que las concentraciones de ozono continúen disminuyendo hasta el mes de enero del siguiente año, debido a la reducción de flujos con transporte de ozono, así como a una moderada concentración de humedad en la estratósfera baja y una mayor actividad fotoquímica.

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, 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.

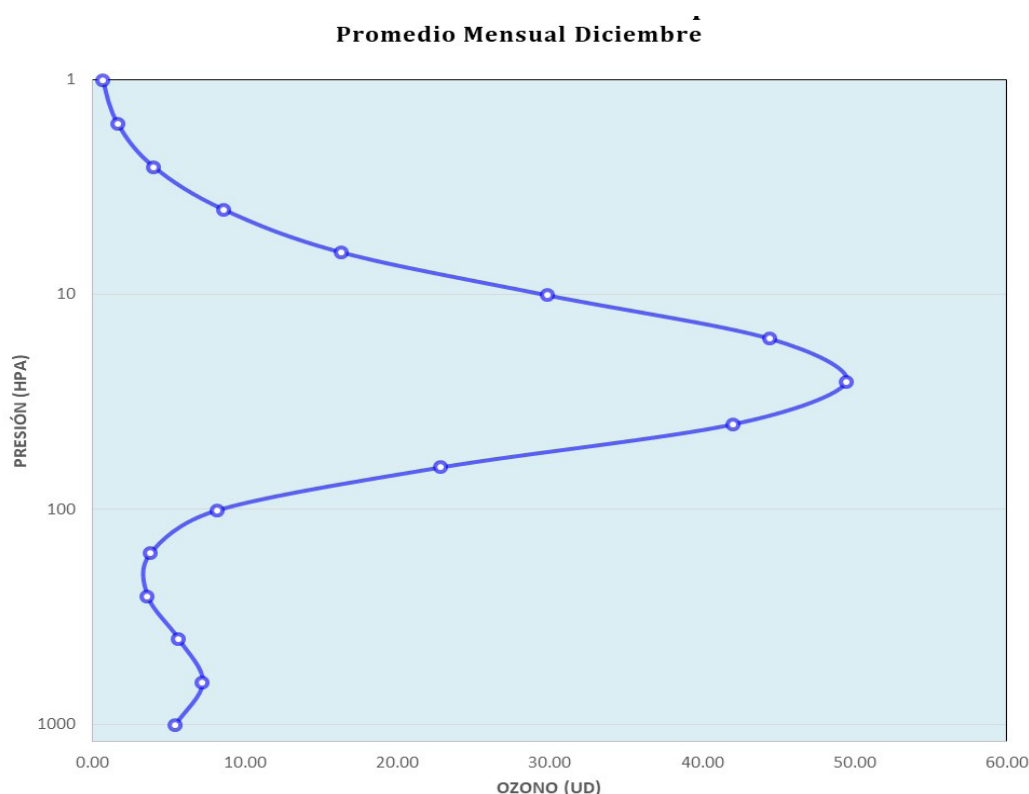
Teniendo en cuenta lo descrito y de acuerdo a la figura 4, obtenido de la National Aeronautics and Space Administration - NASA, plataforma OMPS, se ha podido observar el comportamiento típico del perfil vertical de ozono para el mes de diciembre en la estación Marcapomacocha.

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 las mayores concentraciones de ozono se registran en esta segunda capa de la atmósfera. Se observa que las concentraciones de ozono son ligeramente inferiores a lo observado en el mes pasado, de acuerdo al perfil mostrado. Las concentraciones mayores la encontramos en la media estratósfera con valores entre 43 UD a 48 UD.

FIGURA N° 4

Perfil vertical de ozono atmosférico del OVA Marcapomacocha

Fuente: National Aeronautics and Space Administration – NASA



Según información de perfil vertical de ozono atmosférico para un día típico del mes de diciembre (día 24) 2025 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones mayores al mes pasado, cuyos valores han oscilado entre 15 UD y 35 UD, entre la alta tropósfera y media estratósfera (el área de cobertura latitudinal de estas concentraciones bajas se dio entre 40N°-90°N). Desde el 21 de diciembre, dicho hemisferio, se encuentra en la estación de invierno, registrándose concentraciones de ozono consideradas altas en latitudes altas, con tendencia a mantenerse debido a la presencia de vientos del norte mayormente. Por otro lado, el régimen de temperaturas en la estratósfera baja y media de la región tropical, ha disminuido, continuando por debajo de sus valores normales durante el mes.

Se debe 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 setiembre y marzo.

Se debe mencionar que la altura de las concentraciones de ozono (12 UD a 22 UD) en latitudes bajas del hemisferio norte fue de 60 hPa y 8 hPa, mientras que en latitudes bajas del hemisferio sur (10 UD a 23 UD) la altura fue de 60 hPa y 7 hPa. En latitudes medias del hemisferio sur se registraron concentraciones inferiores, con valores entre 13 UD y 32 UD, pero a una altura entre 180 hPa y 8 hPa. La amplitud de las alturas tanto en latitudes bajas y medias del hemisferio sur han sido ligeramente mayores al mes pasado.

En esta temporada, las concentraciones de ozono, por lo menos en esta parte de la región tropical, han registrado valores ligeramente inferiores con tendencia a seguir disminuyendo, por factores de circulación de vientos mayormente zonales negativos, a nivel de 70 hPa, pero también a vientos del sureste y noreste, aunados a los posibles efectos de las concentraciones de vapor de agua emitidas por el volcán submarino Hunga Tonga en enero de 2022.

Para el caso de nuestro país, concentraciones de ozono relativamente bajas se han registrado entre los 50 hPa y 8 hPa con valores entre 12 UD y 23 UD, especialmente en la región norte del país, mientras que, en la sierra central y sur, las concentraciones oscilaron entre 12 UD y 22 UD a una altura de 70 hPa y 7 hPa.

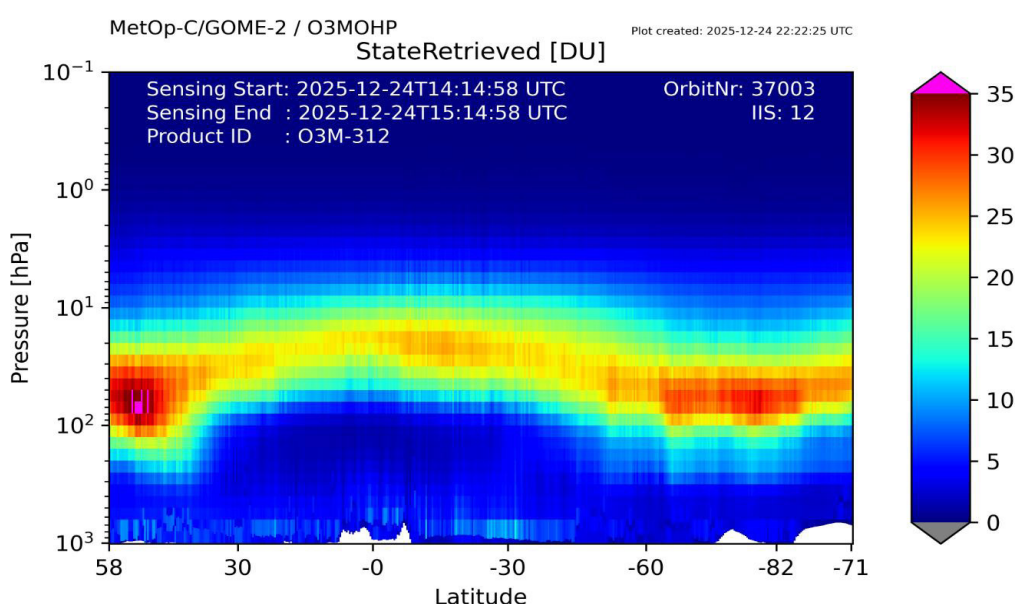
En los primeros niveles de la atmósfera (tropósfera) las concentraciones de ozono son bajas (oscilan, generalmente, entre 1 UD y 10 UD), esto se debe a los efectos residuales de la formación del ozono del día anterior, así como también a otros procesos físico-químicos. En la estación de verano austral, 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 la disminución del vapor de agua, debido a la consideración descrita en párrafos anteriores. Figura 5.

A la fecha se ha registrado en la región tropical, una circulación de viento mayormente del primer y cuarto cuadrante, pero también se han registrado vientos del sur los cuales no fueron tan persistentes permitiendo el aporte de bajas concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes, trayendo como consecuencia, que sean inferiores al mes anterior. El hemisferio norte se encuentra a partir del 21 de diciembre en un periodo más frío, con tendencia a presentar condiciones de bajas temperaturas a medida que pasen los meses, por efecto del mayor establecimiento de la estación de invierno, motivo por el cual tanto los procesos físicos como químicos llegan a tener una menor actividad fotoquímica, pero con un mayor ingreso de vientos del norte.

FIGURA N° 5
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.

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_2 (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 se viene registrando un periodo bastante cálido, como consecuencia de la emisión de los gases de efecto invernadero, que permiten retener el calor almacenado en la atmósfera y por ende concentraciones moderadas a altas de humedad relativa, los cuales tienen repercusión en las concentraciones de ozono. En el caso de nuestro país las condiciones atmosféricas se encuentran en una etapa relativamente cálida debido a factores meteorológicos, astronómicos, así como los oceanográficos (anomalías positivas y negativas de la temperatura de agua de mar, en gran parte del litoral) los cuales interactúan entre sí y llegan a condicionar el régimen térmico a nivel de alta tropósfera como de baja estratósfera.

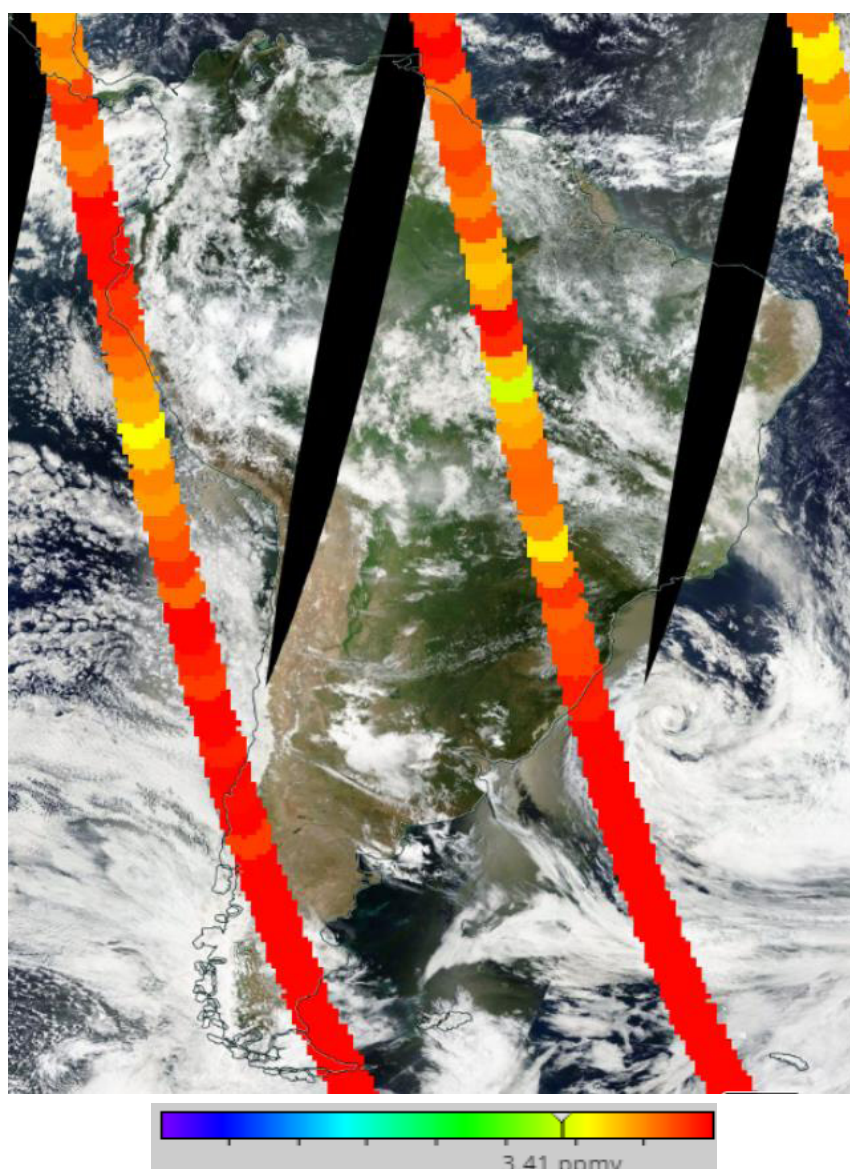
En la figura 6 se observa un mapa con concentraciones de vapor de agua a nivel de 46 hPa (límite entre la estratósfera baja y media) para un día típico del mes (11 diciembre 2025), obtenida de la Earth Data de la National Aeronautics Space Administration - NASA. En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua relativamente moderadas con respecto al mes pasado, en gran parte de la región andina, con una tendencia a continuar incrementándose en los siguientes meses. Por ejemplo, en la

región norte del país, las concentraciones de vapor de agua oscilaron entre 3.70 ppmv a 3.80 ppmv, mientras que, en la central, valores entre 3.60 ppmv a 3.70 ppmv, ligeramente menores al mes pasado. En la región sur del país, concentraciones entre 3.80 ppmv y 3.90 ppmv (se incrementó con referencia al mes de noviembre). La influencia de la temporalidad o mejor dicho, del cambio de estación hacia el verano, ha influido en las concentraciones de vapor de agua que se puedan registrar en dicha capa, aunados a los vientos del este, noreste y sureste (70 hPa), permitiendo un decrecimiento de las concentraciones de ozono atmosférico en esta región. Esta disminución, también está asociado a otros factores como una baja relación de mezcla en ese nivel.

FIGURA N° 6

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 diciembre fue de 30%, mientras que a nivel de 70 hPa fue de 26%, por otro lado, a 50 hPa fue de 4%. 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% (superiores al mes anterior, con excepción de la capa de 15 hPa). El contenido de humedad tuvo un incremento mayormente, al nivel de 70 hPa, debido al ingreso de vientos del este, noreste y sureste. Cabe mencionar que desde el 21 de diciembre se inicia la estación de verano, por lo que sistemas sinópticos propios de la temporada van apareciendo generando algunos procesos de convección en la tropósfera media y alta (traslado de humedad hacia la estratósfera baja) del hemisferio sur, lo cual tiene injerencia con las concentraciones de ozono que se registran en esta parte del país especialmente en la baja estratósfera.

COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO SOBRE EL PERÚ

En cuanto al análisis de los mapas en forma diaria, del mes de diciembre, provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration - NASA (Figura 7), podemos indicar que, para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico, que muestra el mapa, han continuado mostrando una ligera disminución, en gran parte de nuestro país, como por ejemplo en la región norte y central, donde mostraron concentraciones bajas, mientras que en la región sur concentraciones bajas, pero no como en las anteriores regiones. La disminución de las concentraciones de ozono fue debido a que los flujos fueron del este, noreste, norte y sureste en la estratósfera baja, los cuales aportaron bajas concentraciones de este gas. Tal como se explicó en párrafos anteriores, se ha registrado concentraciones de humedad algo superiores al mes pasado, en la baja estratósfera (70 hPa) debido a los flujos de viento explicados anteriormente, así como también a una disminución de la relación de mezcla, lo cual permitió esa disminución de ozono atmosférico en esas capas. Nuestro país se encuentra en época de lluvias y por lo tanto los sistemas atmosféricos

.....

en la alta tropósfera que son característicos de la estación de verano, tendrán presencia, permitiendo la ocurrencia de condiciones de viento con bajos aportes de ozono atmosférico, así como por la influencia de otros factores ya mencionados. Por el lado del Pacífico se registraron concentraciones de ozono mayormente altas.

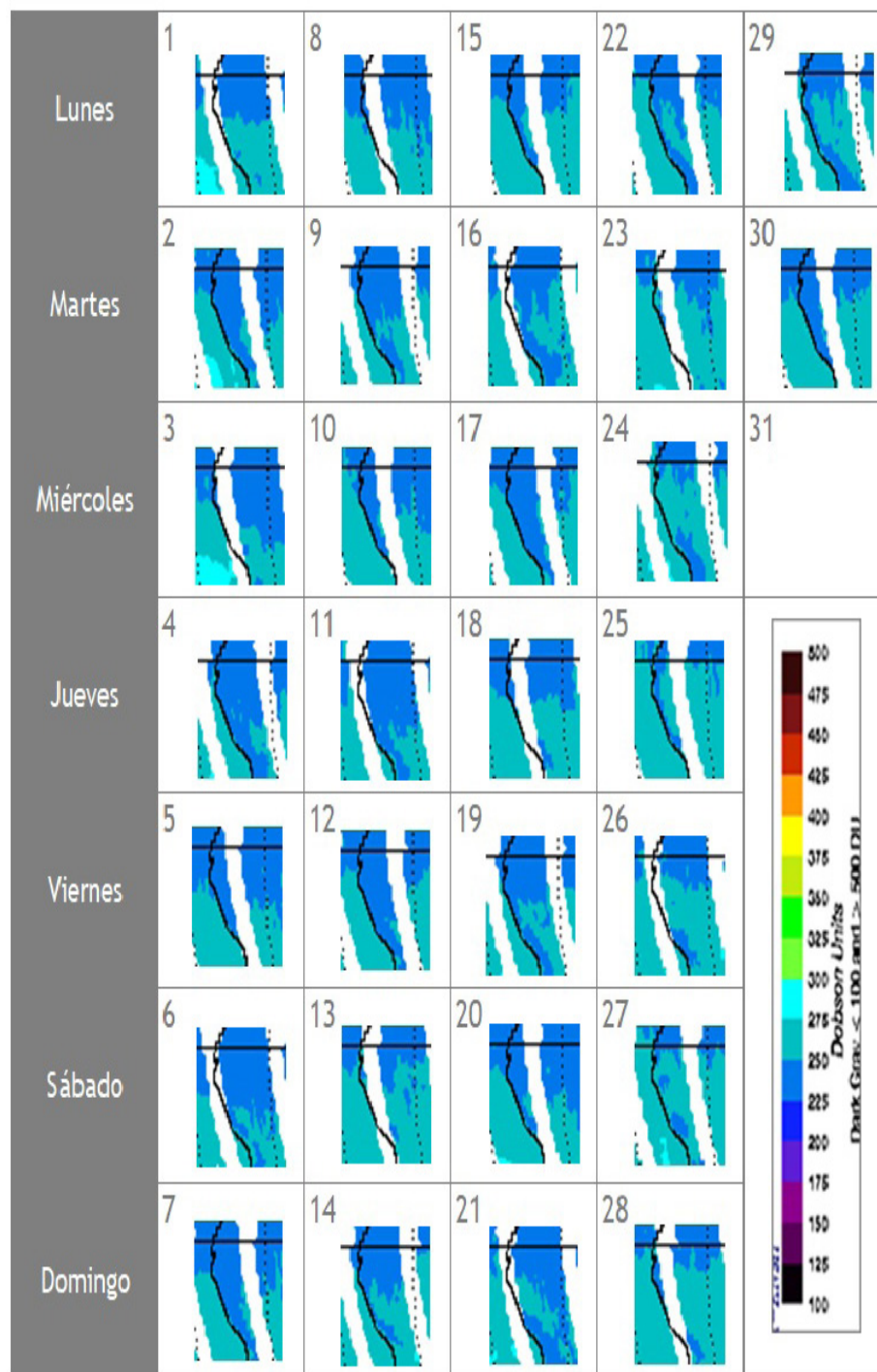
Las concentraciones de ozono atmosférico registraron el descenso, en gran parte de nuestro país, debido a los factores mencionados en el párrafo anterior, así como al incremento de la actividad fotoquímica. Las concentraciones de ozono en la región norte y central, oscilaron entre 225 UD y 250 UD, mientras que en la región sur osciló entre 250 UD y 275 UD. Este comportamiento guarda relación con los valores climáticos que se tienen de la temporada, debido a la continua presencia de vientos zonales negativos mayormente.

Cabe remarcar que las mayores concentraciones de ozono atmosférico se encuentran en la estratósfera baja y media, por lo que es importante que haya una buena relación de mezcla, así como un incremento de la temperatura en esos niveles. En el mes de diciembre se registró una mezcla baja, permitiendo que el ozono haya registrado un decremento por efecto de flujos de viento anteriormente mencionados, ocasionadas por la presencia de núcleos anticiclónicos en latitudes bajas del hemisferio sur abarcando el Pacífico, América del Sur y parte del Atlántico, los cuales permitieron el ingreso de vientos del este, noreste y sureste mayormente (estratósfera baja) con una alta persistencia. Se debe considerar también que estos vientos aportan escasas concentraciones de ozono para nuestras latitudes. Se debe mencionar que, en este mes climáticamente, las concentraciones de ozono continúan disminuyendo, comparados al mes de noviembre, por lo que de acuerdo a los motivos expuestos en los párrafos anteriores se registró una disminución en el régimen térmico, especialmente a nivel de estratósfera baja.

FIGURA N° 7

Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de diciembre 2025

Fuente: Satélite AURA



FLUJO DE VIENTOS EN LA BAJA Y MEDIA ESTRATOSFERA

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. Por este periodo se considerará información proveniente del centro del país. En ese sentido, se analizará la información de viento proveniente de ese lugar con las características que se detallan a continuación. 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 msnm. 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 diciembre al nivel de 100 hPa fue mayormente del primer y segundo cuadrante, o sea del este, noreste, norte y noroeste mayormente y en menor proporción del suroeste y sureste, los cuales siguen siendo influenciados por los flujos de 200 hPa y 150 hPa (alta tropósfera), con intensidades que oscilaron entre 3 m/s y 18 m/s con una persistencia de 83%. En otras direcciones la persistencia fue del 17% con una velocidad entre 5 m/s y 9 m/s. Cabe recalcar que climáticamente los flujos de viento en este nivel son bastante variables.

A nivel de 70 hPa los flujos de viento fueron mayormente del primer y cuarto cuadrante, ó sea vientos provenientes del noreste, sureste y este con velocidades que oscilaron entre 10 m/s y 20 m/s con una persistencia de 87%. En otras direcciones la persistencia fue de 13% con velocidades entre 4 m/s y 10 m/s.

En el nivel de 50 hPa los flujos de viento fueron mayormente del este, sureste y noreste, con una persistencia del 100% con velocidades entre 8 m/s y 22 m/s.

MEDIA ESTRATÓSFERA

En el nivel de 30 hPa los flujos predominantes de viento fueron del este con una persistencia del 100%. Asimismo, las velocidades de viento oscilaron entre 20 m/s y 35 m/s. Por otro lado, en otras direcciones fue nulo.

Finalmente, en el nivel de 15 hPa los flujos también fueron en su totalidad del este, con velocidades que oscilaron entre 14 m/s y 33 m/s con una persistencia de 100%. Cabe mencionar que en esta capa se registraron los mayores flujos de viento comparado a la estratósfera baja.

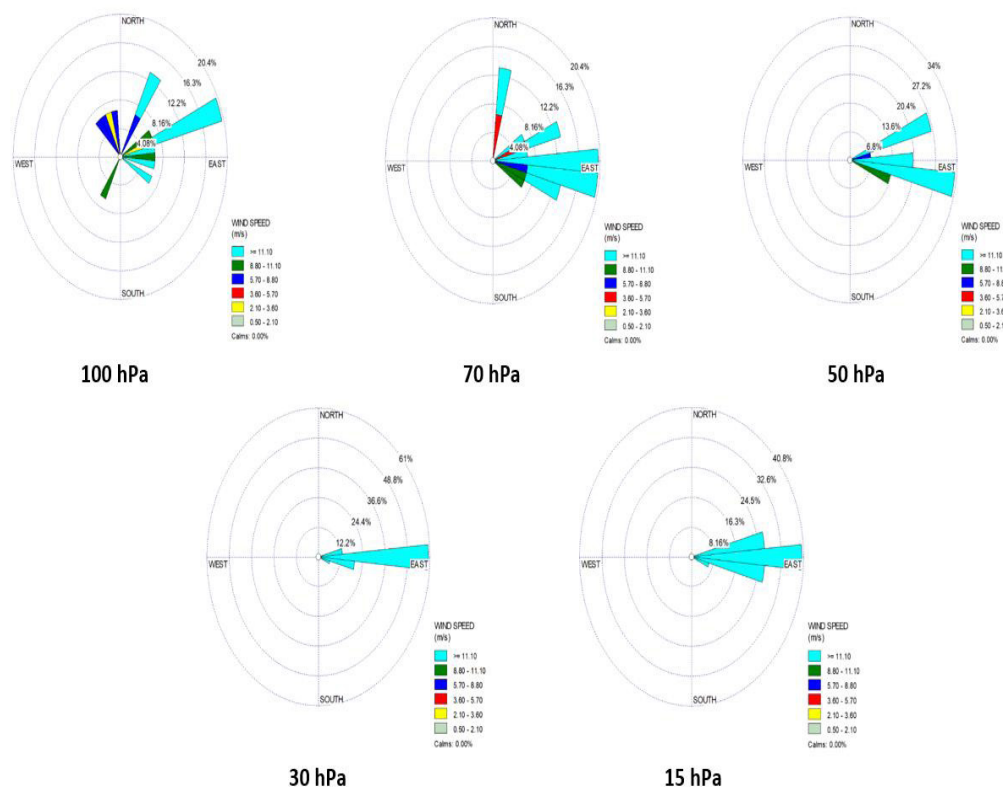
Realizando una síntesis de este análisis, se podrá observar que los vientos provenientes del primer, segundo y cuarto cuadrante han sido los más frecuentes en la baja estratósfera, mientras que, en la media estratósfera, los vientos del este fueron los más frecuentes (similar al mes pasado). En latitudes bajas del hemisferio sur se registraron sistemas anticiclónicos, motivo por el cual los vientos sobre nuestro país han sido mayormente zonales negativos con bajo contenido de ozono generando una disminución en las concentraciones del mismo (comportamiento inferior al mes pasado). Cabe mencionar que en esta temporada las concentraciones de ozono climáticamente, han continuado disminuyendo con respecto al mes de noviembre, debido a una baja relación de mezcla de ozono en la alta atmósfera, así como a una disminución de la temperatura en la capa de 70 hPa. Se recalca que los flujos de vientos (intensidad y dirección) son muy importante en el traslado de altas o bajas concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes.

En el mes de diciembre se registró un contenido de humedad atmosférica superior al mes anterior, en todas las capas de la estratósfera baja y media, con excepción de la capa de 16 hPa, que fue igual, con tendencia a continuar incrementándose, especialmente a nivel de 100 hPa y 70 hPa (propio del inicio de la estación de verano), mientras que en las otras capas de la estratósfera las concentraciones son aún más bajas, los cuales ayudaron a la disminución del ozono atmosférico debido a una menor mezcla de ozono. La figura 8 muestra que los vientos son zonales mayormente, ósea vientos del sureste, este y noreste mayormente, los cuales sustentan los valores inferiores de ozono registrados principalmente en los niveles o capas de 100 hPa, 70 hPa y 50 hPa, sobre nuestras latitudes.

El comportamiento de vientos descrito líneas arriba se puede observar en la Figura 8.

FIGURA N° 8

Comportamiento del viento en la baja y media estratósfera para el mes de diciembre 2025



TEMPERATURA EN LA BAJA Y MEDIA 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, así como otros fenómenos que ocurren en forma casi periódica (Fenómeno El Niño o La Niña).

En la Figura 10 se muestra la distribución promedio mensual de la temperatura

.....

en América del Sur, del mes de diciembre 2025, al nivel de 70 hPa, obtenido del Physical Sciences Laboratory de la National Oceanic and Atmospheric Administration - NOAA.

Durante los días de registro, la temperatura en ese nivel, registró un descenso (ligero enfriamiento) durante parte del mes y relativamente cercanos a sus valores climáticos. Esta disminución estaría relacionado a la menor relación de mezcla debido a la circulación de los vientos provenientes principalmente de este, sureste y noreste, así como a un incremento en la concentración de vapor de agua en ese nivel de la atmósfera, tal como lo muestra la figura 09, permitiendo un cierto descenso en las concentraciones de ozono atmosférico en el Perú. Debido al comportamiento térmico del aire en ese nivel, las concentraciones de ozono, en la región central de nuestro país, lograron registrar valores ligeramente inferiores a nivel promedio mensual, con respecto al mes anterior. Durante el mes de diciembre, las temperaturas, observadas en las capas de la estratósfera baja tuvieron un comportamiento al descenso, pero aún por debajo de sus valores climáticos como en el caso de esta capa de 70 hPa, por otro lado, en las capas de la estratósfera alta, las temperaturas han registrado el mismo comportamiento originando una disminución de las concentraciones de ozono atmosférico debido a flujos de aire mayormente zonales negativos. En lo concerniente a la estratósfera media, en la capa de 30 hPa, se registró una ligera disminución de la temperatura, pero cercano a su valor normal, mientras que en el de 10 hPa se registró un comportamiento similar, acercándose a su valor normal, pero aún por debajo de la misma.

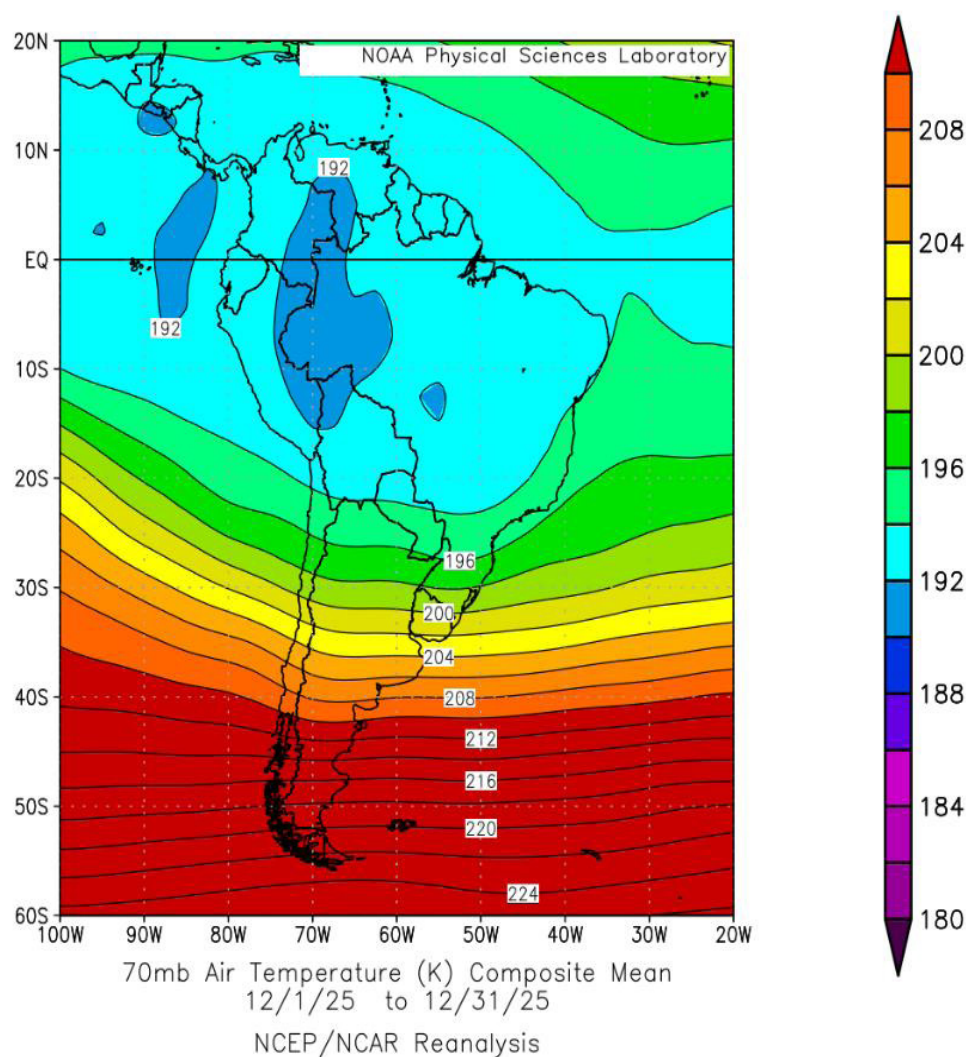
La variabilidad de la concentración de ozono en el nivel de 70 hPa, asociado a los cambios en la temperatura es una consecuencia del movimiento de traslación de la tierra con respecto al sol, así como a procesos de transferencia radiativa y reacciones fotoquímicas. Se suma también, el proceso de la circulación 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. Es importante 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 causales, valga la redundancia, físicos y químicos. El valor promedio mensual (1991-2020) de la temperatura en este nivel y para este mes es de -74.8°C , mayor en valor numérico al mes pasado, pero físicamente

“más frío”. La temperatura calculada en este mes, fue de -81.0°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. En el presente mes, el promedio mensual registrado en superficie fue de 242.1 UD, inferior al mes anterior.

FIGURA N° 9

Comportamiento del régimen térmico en la baja estratósfera para el mes de diciembre 2025



Considerando la información de temperatura de la baja y media estratósfera del mes de noviembre, proveniente de la estación de altura de Junín, podemos decir lo siguiente:

La temperatura a nivel de 100 hPa promedio mensual fue de -80.3°C , mientras que a nivel de 70 hPa fue de -80.2°C , valores muy cercanos con

una diferencia entre ellas, de 0.1°C. Cabe mencionar que entre las dos capas existen 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 region tropical. Ver Figura 10.

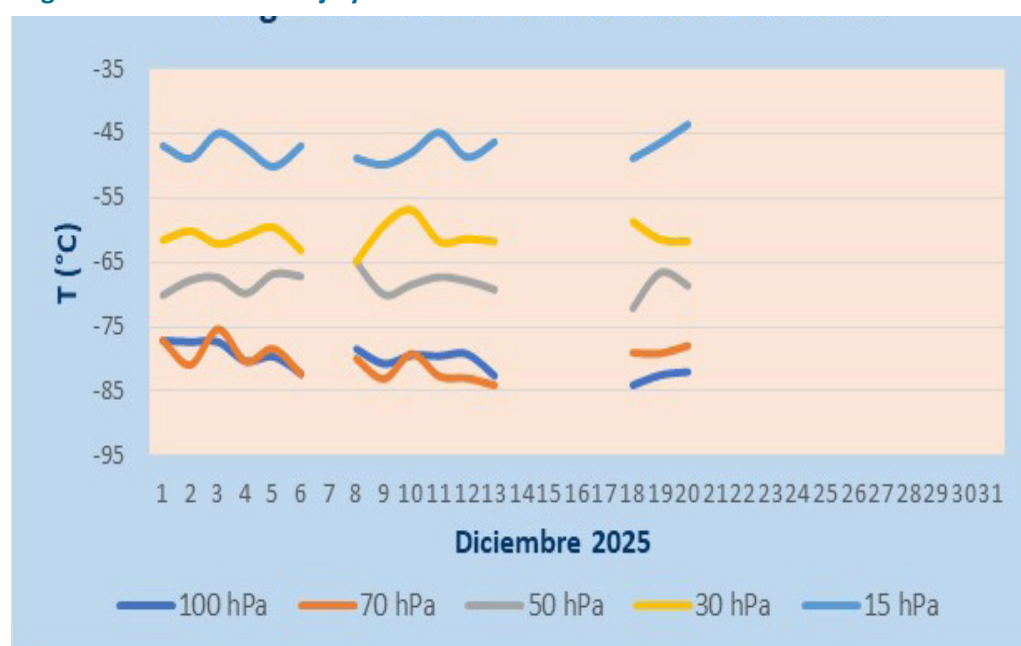
A nivel de 50 hPa, la diferencia es relativamente notoria con una temperatura promedio del mes de -68.3°C (atmósfera más fría, superior en valor numérico al mes anterior).

En la media estratósfera, a 30 hPa, la temperatura promedio registrada fue de -61.2°C, para finalmente, a 15 hPa, la temperatura fuera de -47.5°C. (similar al mes anterior) La relación de mezcla de ozono en esta capa ha sido muy baja.

Asimismo, la temperatura promedio mensual (diciembre 2025) a nivel de 70 hPa obtenida por la NOAA (-81.0°C) y la obtenida por un equipo de altura (-80.2°C), valores bastante cercanos. Hay que tener en cuenta que las temperaturas se incrementan a medida que aumenta la latitud. En latitudes más altas empieza nuevamente a decrecer, mucho más cuando se presenta el vórtice polar.

En ese sentido, la tendencia del régimen térmico durante el mes, fue por lo general a un ligero calentamiento en latitudes medias y por ende mayores concentraciones de ozono con respecto a latitudes bajas.

FIGURA N° 10
Régimen térmico en la baja y media estratósfera de Junín



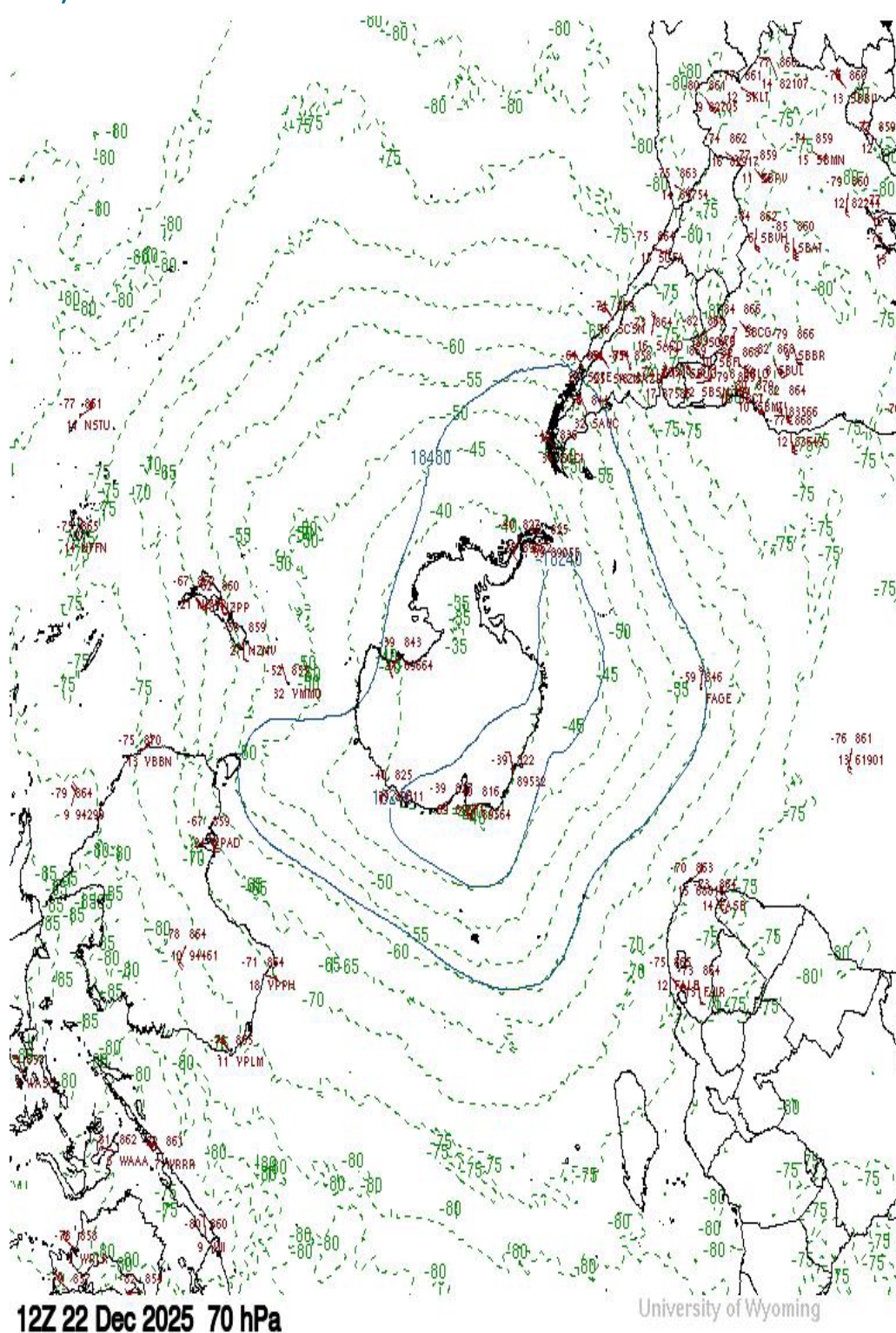
El comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur en un día típico de diciembre, es mostrado en la Figura 11 (University of Wyoming) en donde se aprecia que las temperaturas, específicamente, en el continente Antártico han registrado mayormente valores entre -40°C a -35°C , considerados cálidos con respecto al mes anterior, debido al inicio de la estación de verano el cual permite un incremento de las temperaturas, así como la desaparición completa del vórtice polar. Este régimen térmico continuará con un calentamiento en los siguientes meses debido al cambio de flujos de viento que permiten el ingreso de concentraciones de ozono hacia latitudes altas del este hemisferio.

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) en la región tropical, se encontraría relacionada con un descenso en las concentraciones de ozono y viceversa, pero esto también va a depender de otros factores que no están considerados en este boletín como por ejemplo la concentración de otras sustancias químicas en forma de gas.

En latitudes bajas de América del Sur, las temperaturas en este mes, en la atmósfera alta (alta estratósfera), han registrado un descenso, especialmente en los niveles de 5 hPa, 2 hPa y 1 hPa, incluso por debajo de sus normales climáticas. Los procesos de transferencia radiativa se vienen incrementando en forma paulatina debido al inicio del periodo cálido, con una tendencia a continuar incrementándose afectando también los niveles de radiación solar ultravioleta.

Para el caso de nuestro país las temperaturas en el nivel de 70 hPa, según el gráfico mostrado, ha registrado un valor de -81.0°C , proceso físico más frío comparado al mes pasado, permitiendo que las concentraciones de ozono atmosférico, en esta capa, hayan disminuido con respecto al mes anterior, por efecto de factores como los flujos de viento con direcciones del noreste, este y sureste principalmente, aunados a una escasa relación de mezcla de ozono atmosférico así como al incremento de la humedad a nivel de 70 hPa y mayor actividad fotoquímica.

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (22 diciembre 2025)



Fuente: Universidad de Wyoming

III.-CONCLUSIONES

1. El mes de de diciembre se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono (Columna total de ozono) sobre nuestro país (los medidos en superficie) son inferiores al mes de noviembre. El promedio mensual fue de 243.1 UD, mientras que en el mes de noviembre fue de 244.2, permitiendo concluir que los flujos de viento zonales negativos, así como los esporádicos flujos meridionales, se registraron en la estratósfera baja (100 hPa y 70 hPa), mientras que en la estratósfera media fueron en su totalidad del este. El mismo comportamiento lo tuvo la estratósfera alta.
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 238.9 UD a 245.9 UD, límites inferior y superior, ligeramente menores al mes anterior. Esta disminución, está ligado mayormente a la menor relación de mezcla del ozono en capas de la estratósfera, aunados a los flujos de viento provenientes del este, sureste y noreste. Con mayor predominancia del primero.
3. Con respecto a la distribución vertical del ozono según información obtenida por el Metop-C/GOME-2, durante un día típico del mes de diciembre, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical del hemisferio sur, se registró entre los 60 hPa y los 7 hPa (baja y media estratósfera) con valores que oscilaron entre 10 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 180 hPa y 8 hPa con valores entre 13 UD y 32 UD. La disminución en las concentraciones de ozono de este mes con respecto al de noviembre, ha sido influenciada, en un primer momento, por vientos mencionados en la conclusión N°2, y en un segundo momento por una mayor actividad fotoquímica a nivel de 70 hPa debido al inicio del periodo cálido o verano austral.
4. El registro de concentraciones de ozono atmosférico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, oscilaron entre 15 UD y 35 UD, entre la baja y media estratósfera 180 hPa y 10 hPa a lo largo de 40°N - 90°N). Durante el mes de diciembre se registraron procesos físicos de alta relación de mezcla de ozono de latitudes medias a altas, influenciados por los vientos del norte mayormente, así como del suroeste, los cuales permitieron incrementar concentraciones de ozono atmosférico, mayores al mes anterior. En latitudes bajas del mismo hemisferio se

registraron concentraciones de ozono entre 12 UD y 22 UD a una altura entre 60 hPa y 8 hPa. A estos procesos se les suma la Oscilación Quasi Biental (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 una ligera disminución con valores entre 3.60 ppmv y 3.80 ppmv, lo cual demuestra que, a pesar de encontrarnos en el límite superior de la estratósfera baja, se registran todavía ciertas cantidades de vapor de agua (con tendencia a continuar incrementándose por el periodo lluvioso), por tanto tiene incidencia en las concentraciones de ozono atmosférico, en esa región (más bajas). Cabe resaltar que concentraciones mayores de vapor de agua, especialmente en la baja estratósfera, afectan grandemente el comportamiento espacial y temporal de este gas, sobre nuestras latitudes.
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, en general, que los valores de ozono atmosférico hayan disminuido, han sido los vientos en mayoría del este, en todos los niveles de la estratósfera baja y media, con excepción de la capa de 15 hPa donde fue similar; quienes transportaron escasas concentraciones de ozono, aunados también a otros flujos como los provenientes del sureste y noreste en la estratósfera baja (100 y 70 hPa).
7. Los mapas de ozono total atmosférico (provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration – NASA), mostraron un comportamiento de ozono sobre nuestro país, menores al mes pasado, especialmente en la región norte y central con valores que oscilaron entre 225 UD y 250 UD, como producto de la presencia de vientos mencionados anteriormente.
8. En lo que concierne al comportamiento del régimen térmico en la baja estratósfera (70 hPa) del hemisferio sur, especialmente en la región Antártica se puede mencionar que el mes de diciembre se caracterizó por registrar valores ligeramente inferiores (-40.0°C a -35.0°C) al mes pasado (físicamente “más cálida”), guardando cierta relación con una desaparición paulatina del vórtice polar, permitiendo mayor mezcla de ozono proveniente de latitudes medias y bajas trayendo como consecuencia un ligero incremento de las concentraciones de ozono.

.....

Sobre nuestro país se registró una temperatura de -81.0°C . Para un mejor análisis de este comportamiento se requiere considerar otros factores que no están definidos en el presente boletín, como por ejemplo otros gases con componentes químicos, circulación atmosférica, actividad fotoquímica.

9. 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, en la estratósfera baja, las condiciones térmicas han continuado disminuyendo con respecto al mes anterior (más frías), como consecuencia de la presencia de vientos zonales mayormente negativos, así como ingresos esporádicos de vientos meridionales negativos, especialmente en el nivel de 100 hPa y 70 hPa. El mismo patrón se observó en la estratósfera media (“enfriamiento”).
10. A medida que transcurren los días, la actividad fotoquímica se incrementa debido al inicio de la temporada cálida como el verano.
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. Grinia Jesús Avalos Roldán

gavalos@senamhi.gob.pe

Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico:

Ing. Elvis Anthony Medina Dionicio

eamedina@senamhi.gob.pe

Análisis y Redacción:

Ing. Orlando Ccora Tuya 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/cqZit9WHG7gLktbT6>

Próxima actualización: 15 de febrero de 2026



**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:**