

Setiembre 2025
vol. 09

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



Introducción

La capa de ozono se encuentra dentro de la atmósfera terrestre y tiene la función de ser una capa protectora que preserva la vida del planeta Tierra, haciendo las veces de escudo contra la radiación proveniente del sol llamados UV o radiación ultravioleta, absorbiendo del 97% al 99% de ella. Se encuentra a una distancia de la superficie de la tierra de 15 a 50 kilómetros de altura en mayor concentración, aunque cercano al suelo también está presente.

Debido a los productos generados por los humanos y llamados halocarbonos, la disminución en la concentración de ozono se ha acelerado, en los últimos 30 años, en comparación a su ritmo natural. Esto provoca el adelgazamiento de la capa y se generen los mal denominados agujeros de ozono, con lo cual la tierra pierde protección contra la radiación solar. El paso de la radiación solar más intenso provoca en la vida humana enfermedades como el cáncer a la piel o las cataratas en los ojos, así como la reducción del sistema inmunológico.

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

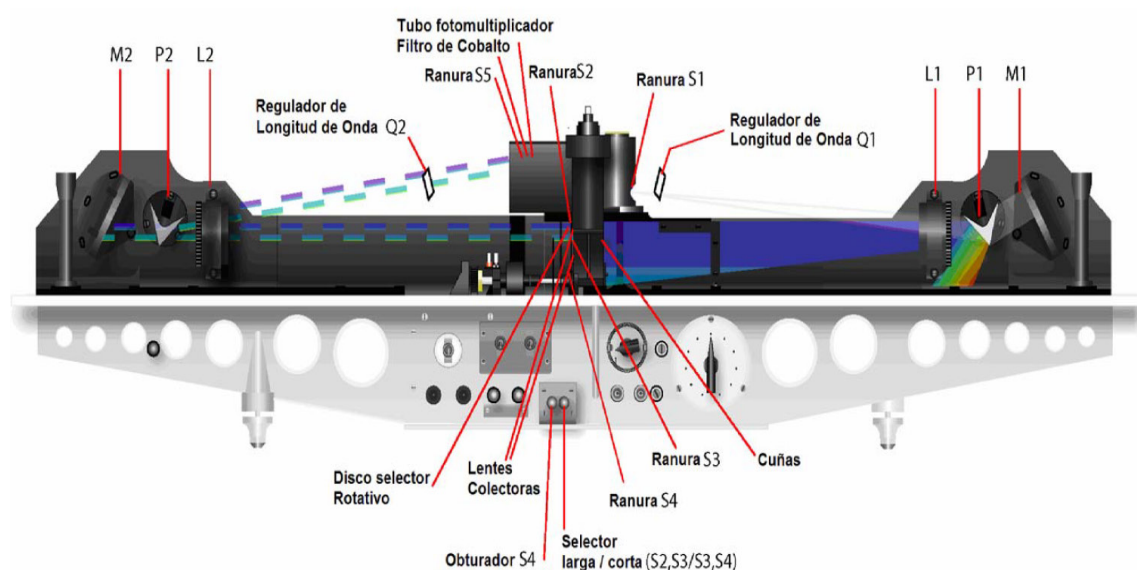
I.- CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

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 setiembre, la estratósfera baja de la región tropical ha continuado registrando características térmicas con una tendencia al calentamiento, acercándose a sus valores climáticos, especialmente en la capa de 70 hPa donde estuvieron valores cercanos a sus normales, debido todavía a concentraciones bajas de vapor de agua. A su vez en la estratósfera media también se registraron valores aún por debajo de sus valores climáticos, pero con tendencia al enfriamiento térmico. En la estratósfera alta, el régimen térmico estuvo muy por debajo de sus valores normales con tendencia al calentamiento. En superficie, las concentraciones de ozono registraron valores superiores 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 un ligero incremento en la temperatura de la estratósfera baja (70 hPa), así como al ingreso de vientos mayormente del oeste, noroeste y norte, desde latitudes bajas del hemisferio norte, hacia nuestras latitudes. La relación de mezcla de ozono, registró un cierto incremento con respecto al mes anterior, el cual también ayudó a que las concentraciones de ozono atmosférico promedios del mes, sean superiores al mes anterior.

En lo que respecta específicamente al flujo de vientos, éstas tuvieron un comportamiento mayormente del oeste (segundo y tercer cuadrante) en la estratósfera baja, aunque a nivel de 50 hPa ha registrado una tendencia hacia el este, mayormente, ya que se han registrado también vientos de norte y noroeste, 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 fueron prácticamente del primer y cuarto cuadrante o sea del este. En ese sentido, en la estratósfera baja es donde se realizaron algunos aportes de ozono atmosférico hacia nuestras latitudes.

En el caso de la alta tropósfera, los sistemas atmosféricos paulatinamente sufren algunos cambios debido al inicio de la estación astronómica de primavera, como el desplazamiento del Anticiclón del Pacífico Sur hacia el sur, así como la influencia y formación paulatina de la Ata de Bolivia, los cuales han permitido el traslado de cantidades consideradas 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 primeras tormentas tropicales generan ozono. Cabe mencionar que el inicio de la primavera permitirá incrementar, aun más, los niveles de ozono en esta parte de la región, así como la humedad atmosférica para dar paso a condiciones húmedas, entre la alta tropósfera y baja estratósfera, procesos que continuarán a lo largo de la primavera y verano. La convección

.....

húmeda mínima ha continuado registrándose, como hace varios meses, en la región norte del país (específicamente en el departamento 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 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 la presencia todavía de concentración de humedad moderada (con tendencia a incrementarse) en la baja y media estratósfera (100 hPa hasta 10 hPa) llegan a tener repercusión en las propiedades físicas y químicas de dicha capa, permitiendo obtener valores de ozono atmosférico superiores al mes pasado, con tendencia a continuar incrementándose, aunados a la circulación de los vientos en dichas capas, así como a la baja humedad.

Un parámetro que conviene resaltar y que influye en el comportamiento del ozono es la denominada Oscilación Quasi Biental (QBO siglas en inglés) el cual domina la variabilidad de la estratósfera ecuatorial (16 - 50 km) y fácilmente puede verse como regímenes de vientos del este y del oeste que se propagan hacia abajo (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 la temporada fría austral, interactúan entre sí en las diferentes capas de la atmósfera, permitiendo una reducción en el transporte de calor o energía. En ese sentido, se analiza la capa de 70 hPa (día 21 de setiembre) dado de que es representativa de la baja estratósfera. A lo largo del mes, climáticamente sobre nuestras latitudes, las concentraciones de ozono continúan incrementándose, debido a la aparición de vientos zonales positivos y meridionales, los cuales aportan concentraciones moderadas de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes. Durante, el mes de setiembre del presente, los vientos fueron mayormente del oeste, noroeste, así como del norte y noreste en la estratósfera baja (primer, segundo y tercer cuadrante) para luego ser netamente del este, en la estratósfera media, con temperaturas (estratósfera baja) ligeramente menores (en valor numérico) al mes anterior. Cabe mencionar que también se registraron vientos bastante esporádicos del sur, los cuales aportaron cantidades entre bajas a moderadas

de ozono atmosférico. En este mes, se registraron núcleos anticiclónicos, pero en latitudes bajas del hemisferio norte, los cuales indujeron a la invasión de masas de aire con concentraciones moderadas 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 altas en latitudes medias pero bajas en latitudes altas debido a la formación del vórtice polar, aunados a la disminución de las temperaturas debido a la estacionalidad.

En cuanto al régimen térmico (latitudes 25°N - 25°S), tal como se mencionó anteriormente, se puede señalar lo siguiente: en la estratósfera baja se ha observado comportamientos parecidos al mes pasado, pero aún por debajo de sus valores normales como en el caso de la capa de 100 hPa, mientras que, en las capas de 70 hPa y 50 hPa, se han comportado cercano a sus valores climáticos con una tendencia a mantener los mismos, pero siempre por debajo de sus normales. Los causales podrían ser; el paulatino incremento de la humedad atmosférica, comparado al mes pasado, y más bien un incremento de la relación de mezcla. En los niveles de 30 hPa y 10 hPa (estratósfera media) registraron una tendencia a un ligero enfriamiento en el primero y un calentamiento en el segundo, 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 también muy por debajo de sus valores climáticos, pero con tendencia al incremento. A pesar de todo este comportamiento en la estratósfera, las concentraciones de ozono lograron registrar valores superiores a nivel promedio mensual, con respecto al mes anterior, en la región tropical, el cual estaría relacionado por la ocurrencia de mayor mezcla de ozono atmosférico. El comportamiento térmico en la baja estratósfera estaría relacionado por la presencia de vientos mayormente del segundo y tercer cuadrante. En la estratósfera media todos los flujos de viento fueron del este con temperaturas por debajo de sus valores climáticos. En el caso de Perú, se debe remarcar que, de acuerdo a la información de superficie, las concentraciones de ozono en este mes han registrado, tal como ya se mencionó, valores superiores al mes pasado (a nivel promedio mensual), con una tendencia a continuar incrementándose. Cabe enfatizar que tanto los valores mínimos y máximos diarios de ozono sobre nuestro país, en este mes, fueron ligeramente superiores. La amplitud entre dichos valores en setiembre, han oscilado entre 15 UD a 17 UD. 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 setiembre 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 238.7 UD y 255.7 UD (UD = Unidades Dobson). Como se mencionó anteriormente, a nivel promedio mensual fue superior.

En las primeras horas del día las concentraciones de ozono son relativamente altas debido al ozono acumulado en horas de la noche (en setiembre, climáticamente, se registran valores de ozono superiores a agosto) 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 Altos a Muy altos en el mes de agosto (en los meses de verano son mayores), permite una reducción del ozono (moderada 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 continuado registrando un leve incremento debido al inicio de la estación de primavera, con condiciones de cielo entre despejado y cubierto, mayormente en la región andina. La cantidad de aerosoles ha mostrado una tendencia al ascenso, aunque en algunas regiones se ha mantenido algo similar al mes pasado debido todavía a algunos procesos físicos como la circulación de los vientos transportando moderadas concentraciones de vapor de agua, permitiendo una transparencia atmosférica moderada. Se espera que en el mes siguiente dichos valores de radiación, se incrementen debido al establecimiento de la estación de primavera.

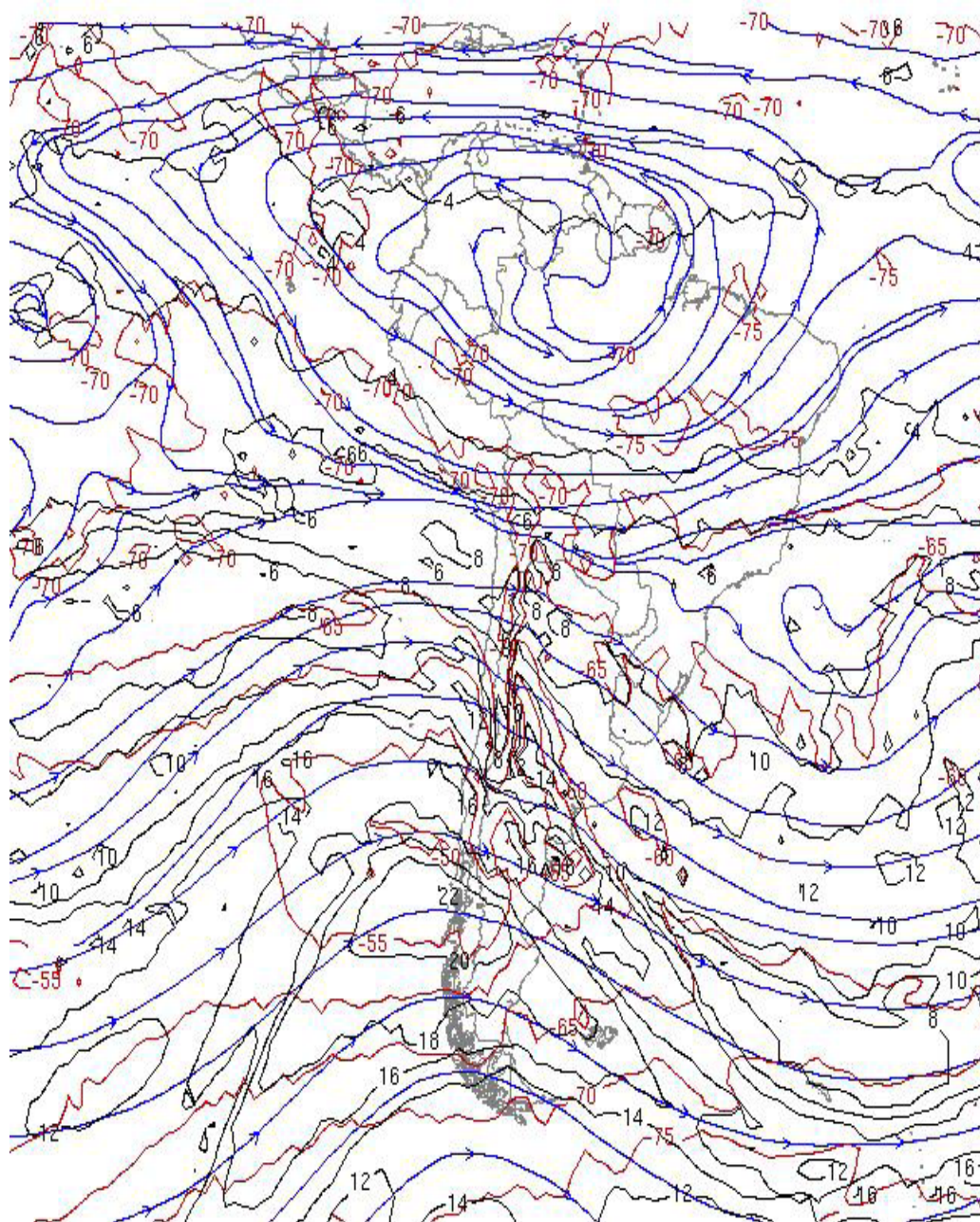
Parte de la humedad de la tropósfera también se distribuye en la baja estratósfera permitiendo una moderada formación de ozono atmosférico, especialmente a nivel de 100 hPa y 70 hPa.

FIGURA N° 2

Flujos de masas de aire cuasi meridionales en la región tropical

Fuente: Weather Service de la University of Wyoming

Temperature [C] | Ozone Partial Pressure [ubar]



University of Wyoming

0 Hour 70 hPa Forecast Valid 18Z Thu 21 Aug 2025



PERÚ

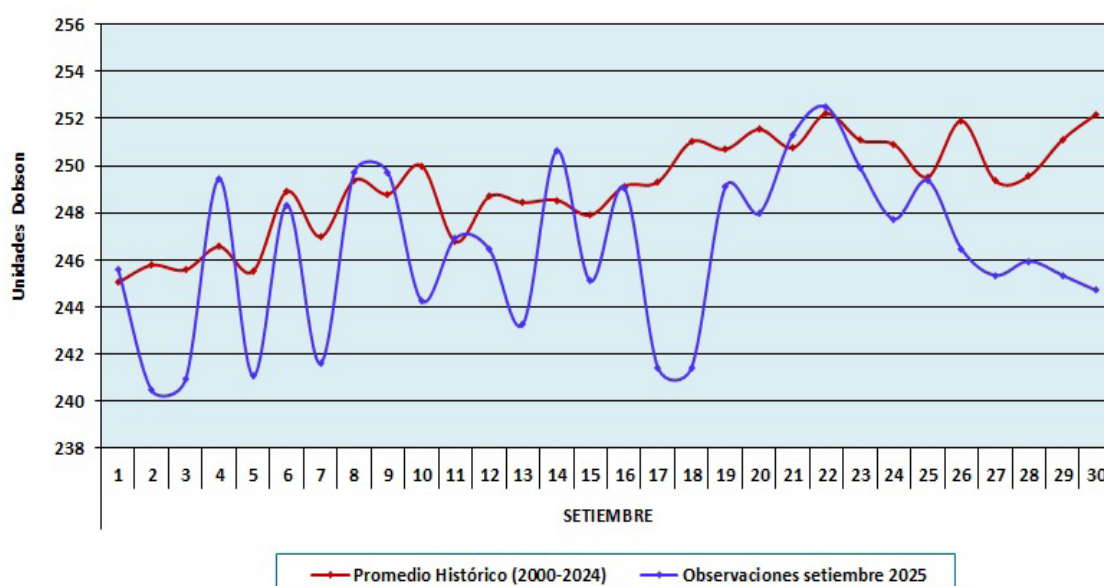
Ministerio
del Ambiente

El comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2024) del mes de setiembre oscila entre 245.0UD y 252.6 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de setiembre del presente año, oscilaron entre 240.5 UD y 252.5 UD. En la figura, se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 73% por debajo de sus valores climáticos, mientras que un 27% por encima (cabe mencionar que hubo un desfase de hasta 10 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. Por ejemplo, durante el mes el comportamiento entre ambas series ha sido variable, por algunos momentos los valores medidos en setiembre del presente se acercaron a sus valores normales mientras que en otros se alejaron, atribuibles probablemente por los cambios en los flujos de viento, los cuales han sido mayormente del segundo y tercer cuadrante 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 agosto ha registrado un incremento.

FIGURA N° 3

Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Setiembre 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. 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 246.4 UD inferior en 3.7 UD al promedio mensual multianual (250.1 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 y noreste mayormente, así como una moderada a alta relación de mezcla) y una moderada a 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 (los más bajos del año) en latitudes bajas (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 setiembre, se ha empezado a registrar masas de aire provenientes principalmente del segundo y tercer cuadrante al nivel de 70 hPa (algunas veces del primer cuadrante), ósea vientos del oeste, noroeste y norte (traslado moderado de ozono). Claro está que también se registraron vientos de otras direcciones (pero con menor persistencia), como por ejemplo del sur, sureste y este, trasladando bajas concentraciones de ozono atmosférico, lo que, en resumidas cuentas, hicieron que se registre valores superiores al mes anterior, sobre nuestras latitudes, pero ya con una tendencia al descenso a partir del siguiente mes.

Los procesos de advección húmeda han continuado siendo moderados en setiembre, con excepción de lo ocurrido en la zona norte del país (departamento 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 hasta la tercera semana, manteniendo condiciones de moderada humedad en toda esa región. Probablemente se haya registrado

.....

algún proceso de advección húmeda tropósfera-estratósfera (regionalmente continúan registrando condiciones cálidas), así como a una moderada relación de mezcla de ozono atmosférico, el cual haya sido un factor adicional para que las concentraciones de ozono se hayan incrementado con respecto al mes anterior. Ahora bien, a esto se le añade el flujo de vientos provenientes del oeste, noroeste y norte (a nivel de 70 hPa), los cuales han aportado concentraciones de ozono hacia nuestras latitudes, un poco mayores al mes de setiembre. Un factor que interactúa con estos procesos es la humedad atmosférica, el cual ha registrado un ligero 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).

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 75% de días del mes de setiembre, 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 77% de días del mes estuvieron por encima de lo registrado en superficie. Figura 4.

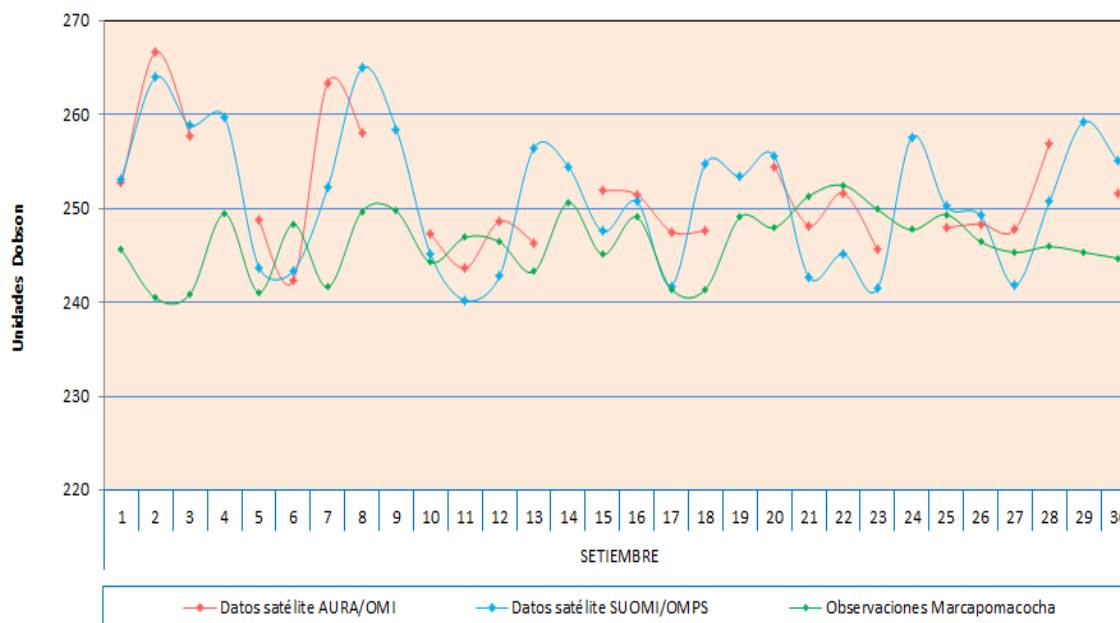
De este análisis podemos decir que la información proveniente de estos dos satélites es mayor, en gran parte del mes, a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson, cuando en los meses anteriores eran inferiores. Existen días donde las diferencias entre los valores registrados por el satélite y el medido en superficie, son bastante altas en el orden de 1 a 26 UD como producto del tipo o forma de medición que realiza el satélite, así como por factores de circulación atmosférica.

Cabe mencionar, que la tendencia de las concentraciones de ozono medidos en superficie ha registrado un incremento durante el mes, debido a la circulación de los vientos en la atmósfera (del segundo y tercer cuadrante), así como a una moderada concentración de humedad, mientras que los medidos con los satélites, también mostraron ese comportamiento.

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

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.

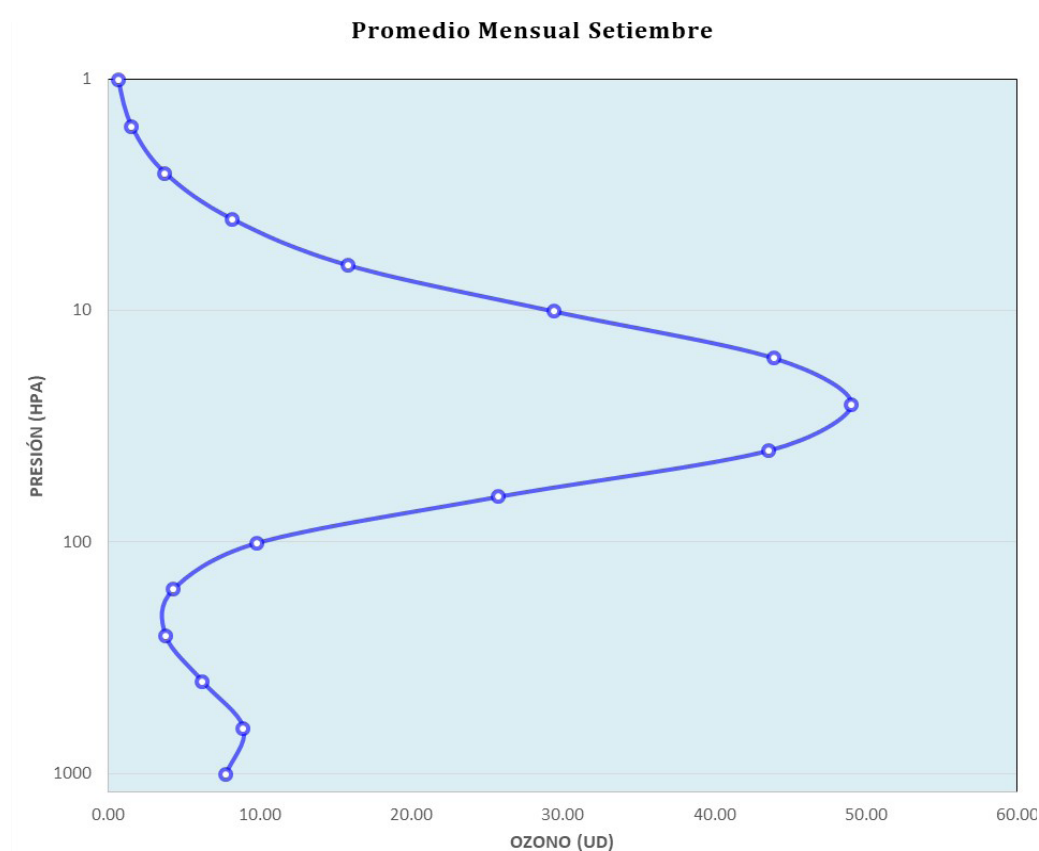
Teniendo en cuenta lo descrito líneas arriba y de acuerdo a la figura 5, obtenido de la National Aeronautics and Space Administration – NASA, plataforma OMPS, se ha podido observar el comportamiento típico del perfil vertical de ozono para el mes de agosto en el OVA Marcapomacocha.

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 superiores a lo observado en el mes pasado, de acuerdo al perfil mostrado. Las concentraciones mayores la encontramos en la media estratósfera con valores entre 48 UD a 54 UD.

FIGURA N° 5

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 setiembre (día 19) 2025 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones cada vez menores al mes pasado, cuyos valores han oscilado entre 12 UD y 22 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 setiembre, dicho hemisferio, se encuentra en la estación de otoño, registrándose concentraciones de ozono consideradas bajas en latitudes altas, con tendencia a mantenerse debido a la presencia de vientos del este mayormente (similar al mes pasado). El régimen de temperaturas en la estratósfera baja y media de la región tropical, se ha incrementado, pero aún, por debajo de sus valores normales durante el mes.

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 23 UD) en latitudes bajas del hemisferio norte fue de 80 hPa y 7 hPa, mientras que en latitudes bajas del hemisferio sur (12 UD a 23 UD) la altura fue de 100 hPa y 7 hPa. En latitudes medias del hemisferio sur más bien se registraron concentraciones superiores, con valores entre 20 UD y 33 UD, pero a una altura entre 250 hPa y 6 hPa. La amplitud de las alturas 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 valores superiores con tendencia al incremento, por factores de circulación de vientos mayormente zonales positivos y cuasi meridionales, a nivel de 70 hPa), pero también a vientos del norte, 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 80 hPa y 6 hPa con valores entre 13 UD y 23 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 7 hPa.

En los primeros niveles de la atmósfera (tropósfera) si bien es cierto que las

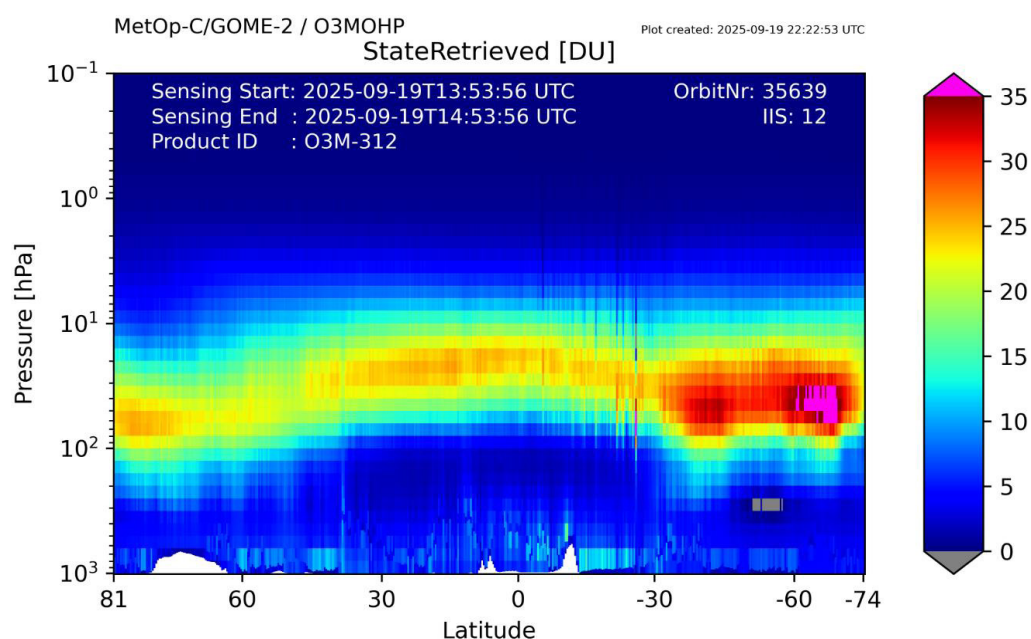
concentraciones de ozono son bajas (oscilan, generalmente, entre 1 UD y 10 UD), esto se debe a los efectos residuales de la formación del ozono del día anterior, así como también a otros procesos físico-químicos. En la estación de verano austral, estos procesos son intensos debido al incremento de la 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 6.

A la fecha se ha registrado en la región tropical, una circulación de viento mayormente del oeste y noroeste, pero también se han registrado vientos del norte los cuales han sido relativamente continuos aportando concentraciones moderadas de ozono sobre nuestras latitudes (parecido al mes de agosto), permitiendo que sean superiores al mes anterior. El hemisferio norte se encuentra todavía en un periodo bastante cálido pero con tendencia a presentar condiciones de bajas temperaturas a medida que pasen los meses, por efecto del inicio de la estación de otoño, motivo por el cual tanto los procesos físicos como químicos llegan a tener una menor actividad fotoquímica permitiendo una cierta 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_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.

Hay que recalcar que 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 menos cálida debido a factores meteorológicos, astronómicos, así como los oceanográficos (anomalías entre 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.

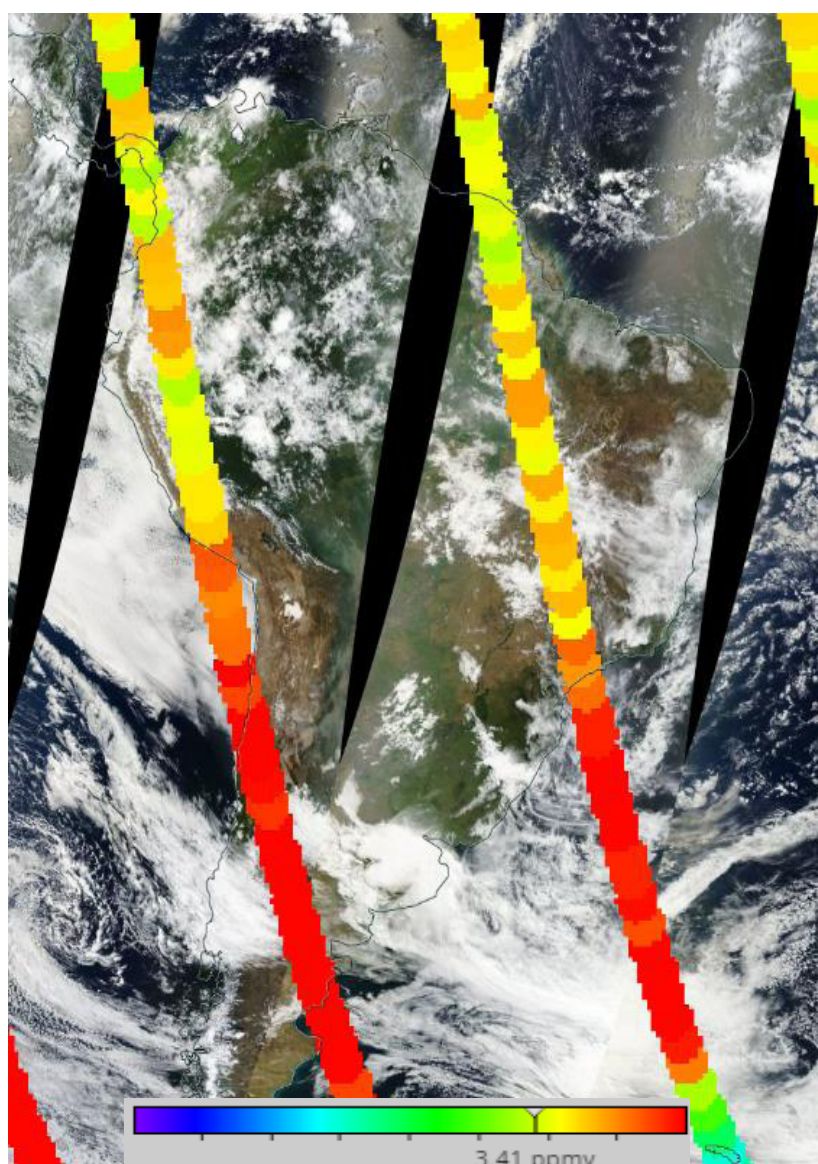
En la figura 7 se observa un mapa con concentraciones de vapor de agua a nivel de 46 hPa (límite entre la estratósfera baja y media) para un día típico del mes (19 setiembre 2025), obtenida de la Earth Data de la National Aeronautics Space Administration - NASA. En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua relativamente moderadas con respecto al mes pasado, en gran parte del litoral peruano, con una tendencia a incrementarse en el mes siguiente. Por ejemplo, en la región norte del país, las concentraciones de vapor

de agua oscilaron entre 3.79 ppmv a 3.83 ppmv, mientras que, en la central, valores entre 3.90 ppmv a 3.94 ppmv (menores al mes pasado). En la región sur del país, concentraciones entre 4.16 ppmv y 4.20 ppmv (se incrementó con referencia al mes de agosto). La influencia de la temporalidad o mejor dicho, del cambio de estación hacia la primavera, ha influido grandemente en las concentraciones de vapor de agua que se puedan registrar en dicha capa, aunados a los vientos del oeste, norte y noroeste (70 hPa), permitiendo todavía un incremento de las concentraciones de ozono atmosférico en esta región. Este incremento, también está asociado a otros factores como una alta relación de mezcla.

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 setiembre fue de 28%, mientras que a nivel de 70 hPa fue de 11%, por otro lado, 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% (similares al mes anterior). El contenido de humedad tuvo un ligero incremento al nivel de 100 hPa y 70 hPa, debido al ingreso de vientos del oeste, noroeste y norte. En el mes de setiembre se inicia la estación de primavera, por lo que sistemas sinópticos propios de la temporada van apareciendo paulatinamente generando algunos procesos de convección en la atmósfera baja (traslado de humedad baja hacia la estratósfera) 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 setiembre, provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration - NASA (Figura 8), podemos mencionar que, para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico, que muestra el mapa, han continuado registrando un incremento, en gran parte de nuestro país, como por ejemplo en la región norte y central, donde mostraron concentraciones altas, mientras que en la región sur las concentraciones de ozono fueron mucho mayores. El incremento de las concentraciones de ozono fue debido a que los flujos del oeste, noroeste y norte en la estratósfera baja aportaron altas 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 debido a los flujos de viento explicados anteriormente, así como también a un incremento en la relación de mezcla, lo cual permitió un incremento de ozono atmosférico en esas capas. Cabe mencionar que nuestro país se encuentra en proceso de cambio de época de estiaje a época de lluvias y por lo tanto los sistemas atmosféricos en la alta tropósfera que son característicos de la estación de

.....

primavera paulatinamente 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 altas.

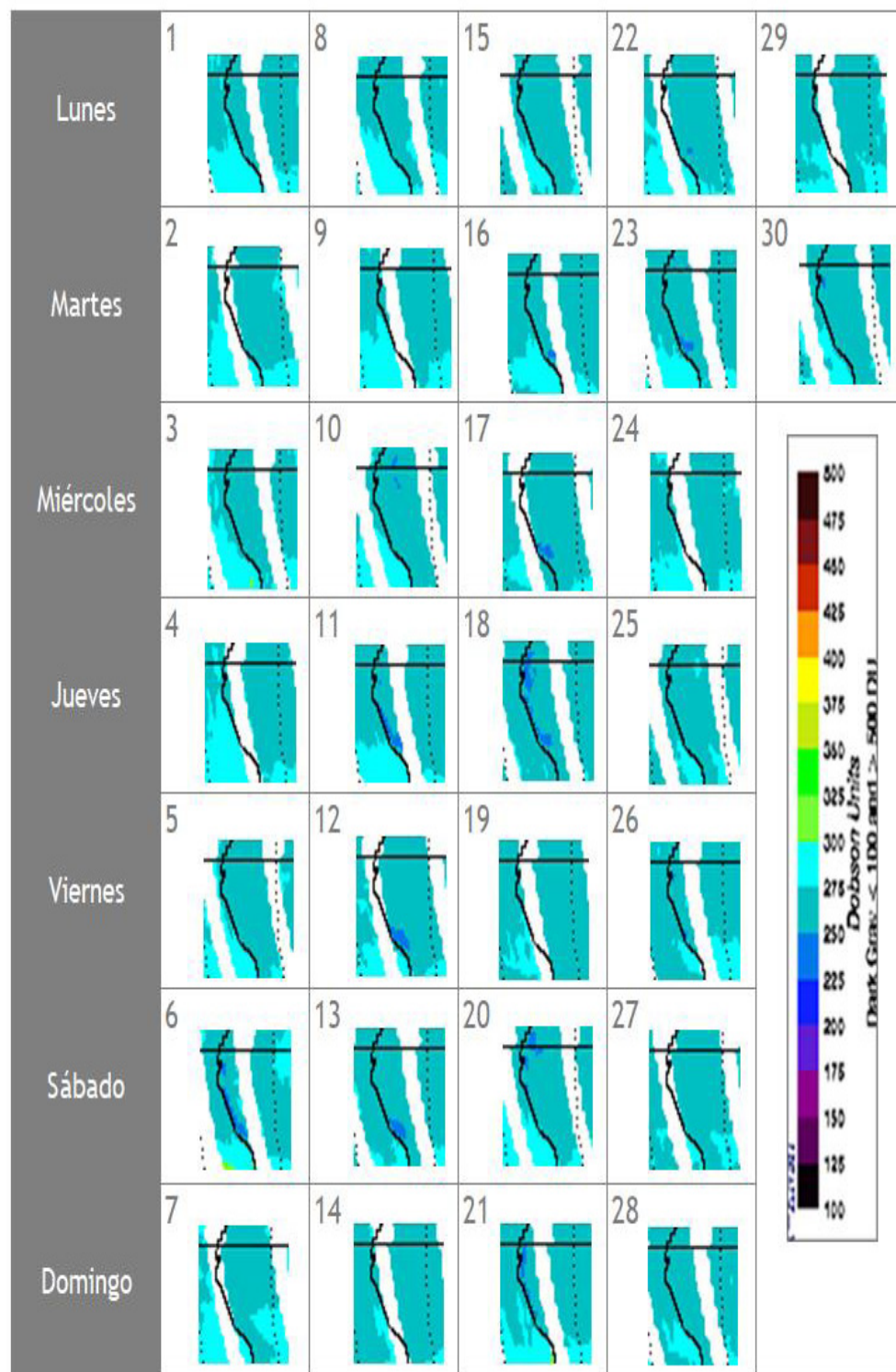
Las concentraciones de ozono atmosférico registraron un ascenso, en gran parte de nuestro país, debido a un ascenso en la relación de mezcla de ozono, así como a una humedad atmosférica ligeramente superior al mes anterior. Las concentraciones de ozono en la región central y norte oscilaron entre 250 UD y 275 UD, en el resto del país, las concentraciones de ozono oscilaron entre 275 UD y 300 UD. Este comportamiento guarda relación con los valores climáticos que se tienen de la temporada, debido a la mayor presencia de vientos zonales positivos y cuasi meridionales.

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 setiembre ocurrieron, en cierta medida, tales condiciones, permitiendo que el ozono haya registrado un incremento por efecto de flujos de viento anteriormente mencionados, ocasionadas por la presencia de núcleos anticiclónicos en latitudes bajas del hemisferio norte, los cuales permitieron el ingreso de vientos del norte, noroeste y oeste mayormente (estratósfera baja) con una alta persistencia. Hay que considerar también que estos vientos aportan concentraciones de ozono para nuestras latitudes. Se debe mencionar que, en este mes climáticamente, las concentraciones de ozono continúan incrementándose, comparados al mes de agosto, por lo que de acuerdo a los motivos expuestos en los párrafos anteriores se registró un incremento en el régimen térmico, especialmente a nivel de 70 hPa.

FIGURA N° 8

Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de setiembre 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 setiembre al nivel de 100 hPa fue mayormente del segundo y tercer cuadrante, o sea del oeste mayormente y en menor proporción del noroeste y suroeste, los cuales siguen siendo influenciados por los flujos de 200 hPa y 150 hPa (alta tropósfera), con intensidades que oscilaron entre 5 m/s y 18 m/s con una persistencia de 84%. En otras direcciones la persistencia fue del 16% con una velocidad entre 5 m/s y 11 m/s. Climáticamente los flujos de viento en este nivel son mayormente zonales positivos.

A nivel de 70 hPa los flujos de viento fueron muy variables, pero con mayor persistencia del segundo y tercer cuadrante (en mayor proporción), ósea vientos provenientes del noroeste, oeste y suroeste con velocidades que oscilaron entre 3 m/s y 11 m/s con una persistencia de 62%. En otras direcciones la persistencia fue de 38% con velocidades entre 2 m/s y 6 m/s.

En el nivel de 50 hPa los flujos de viento fueron variables, pero en su mayoría del sureste, noreste y este, con una persistencia del 75% con velocidades entre 4 m/s y 16 m/s.

MEDIA ESTRATÓSFERA

En el nivel de 30 hPa los flujos predominantes de viento fueron del este con una persistencia del 100%. Las velocidades de viento oscilaron entre 10 m/s y 26 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 16 m/s y 28 m/s con una persistencia de 100%. En esta capa se registraron los mayores flujos de viento comparado a otras de la estratósfera media y baja.

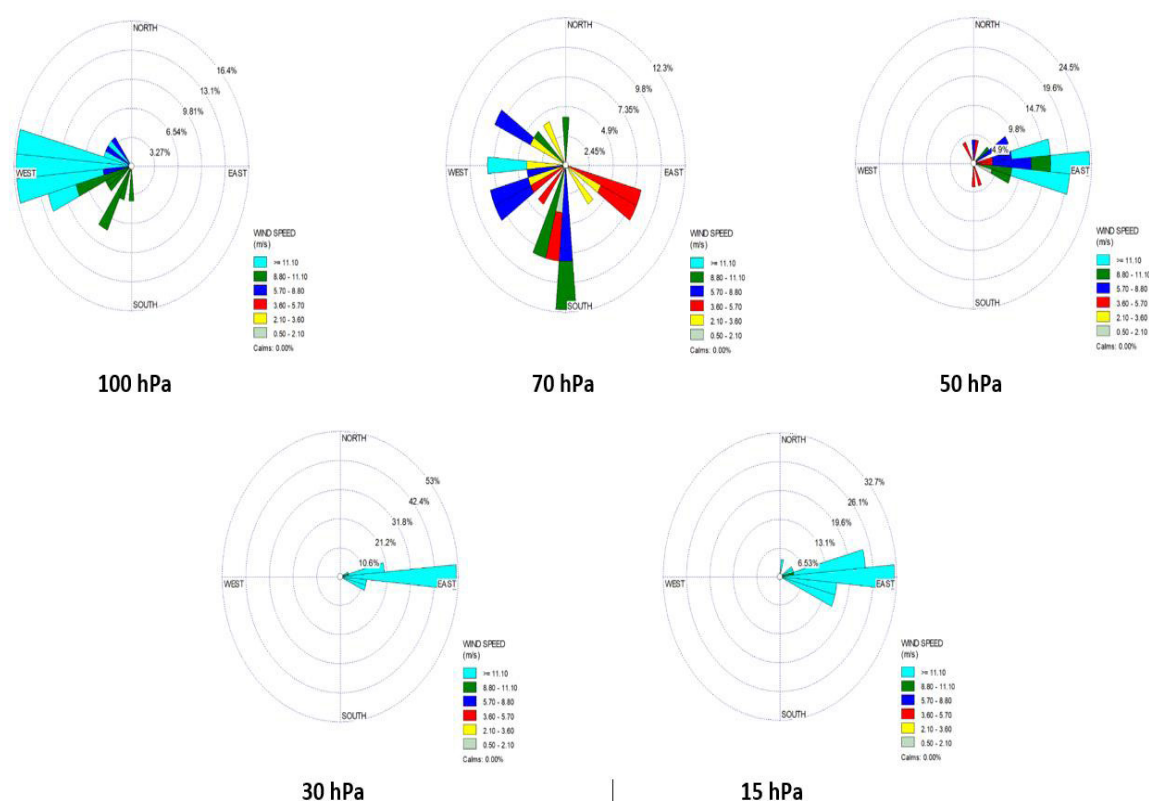
Realizando una síntesis de este análisis, se podrá observar que los vientos provenientes del segundo y tercer cuadrante han sido los más frecuentes en la baja estratósfera, mientras que, en la media estratósfera, los vientos del este fueron los más frecuentes. Tal como se mencionó en párrafos anteriores, en el hemisferio norte, pero en latitudes bajas, se registraron sistemas anticiclónicos, motivo por el cual los vientos sobre nuestro país han sido mayormente cuasi meridionales y zonales con alto contenido de ozono generando un incremento en las concentraciones del mismo (comportamiento superior al mes pasado). En esta temporada las concentraciones de ozono climáticamente, tienden a incrementarse con respecto al mes de agosto, debido a una alta relación de mezcla de ozono en la alta atmósfera, así como a un incremento 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 este mes se registró un contenido de humedad atmosférica ligeramente superior al mes anterior, con tendencia a continuar incrementándose, especialmente a nivel de 100 hPa y 70 hPa (propio del inicio de la estación de primavera), mientras que en las otras capas de la estratósfera las concentraciones son aún más bajas, los cuales permitieron un ascenso del ozono atmosférico debido a la mezcla de ozono. La figura 10 muestra que los vientos son zonales mayormente, ósea vientos del oeste, noroeste y norte mayormente, los cuales sustentan los valores superiores 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 9.

FIGURA N° 9

Comportamiento del viento en la baja y media estratósfera para el mes de setiembre 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 setiembre 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 ascenso (ligero calentamiento) durante gran parte del mes y relativamente cercanos a sus valores climáticos. Este incremento estaría relacionado a la mayor relación de mezcla debido a la circulación de los vientos provenientes principalmente de norte. Noroeste y oeste, así como a una moderada concentración de vapor de agua en ese nivel de la atmósfera, tal como lo muestra la figura 10, permitiendo un cierto ascenso 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, tal como se mencionó líneas arriba, lograron registrar valores superiores a nivel promedio mensual, con respecto al mes anterior. Se debe remarcar que, durante el mes de setiembre, las temperaturas, observadas en las capas de la estratósfera baja tuvieron un comportamiento al ascenso pero 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 también empezaron a incrementarse, pero aún por debajo de sus valores climáticos originando un incremento de las concentraciones de ozono atmosférico debido a flujos de aire meridionales y cuasi meridionales. En lo concerniente a la estratósfera media, en la capa de 30 hPa, se registró un ligero descenso de la temperatura, pero cercano a su valor normal, mientras que en el de 10 hPa se registró un comportamiento contrario (incremento), pero alejado y por debajo de su normal climática.

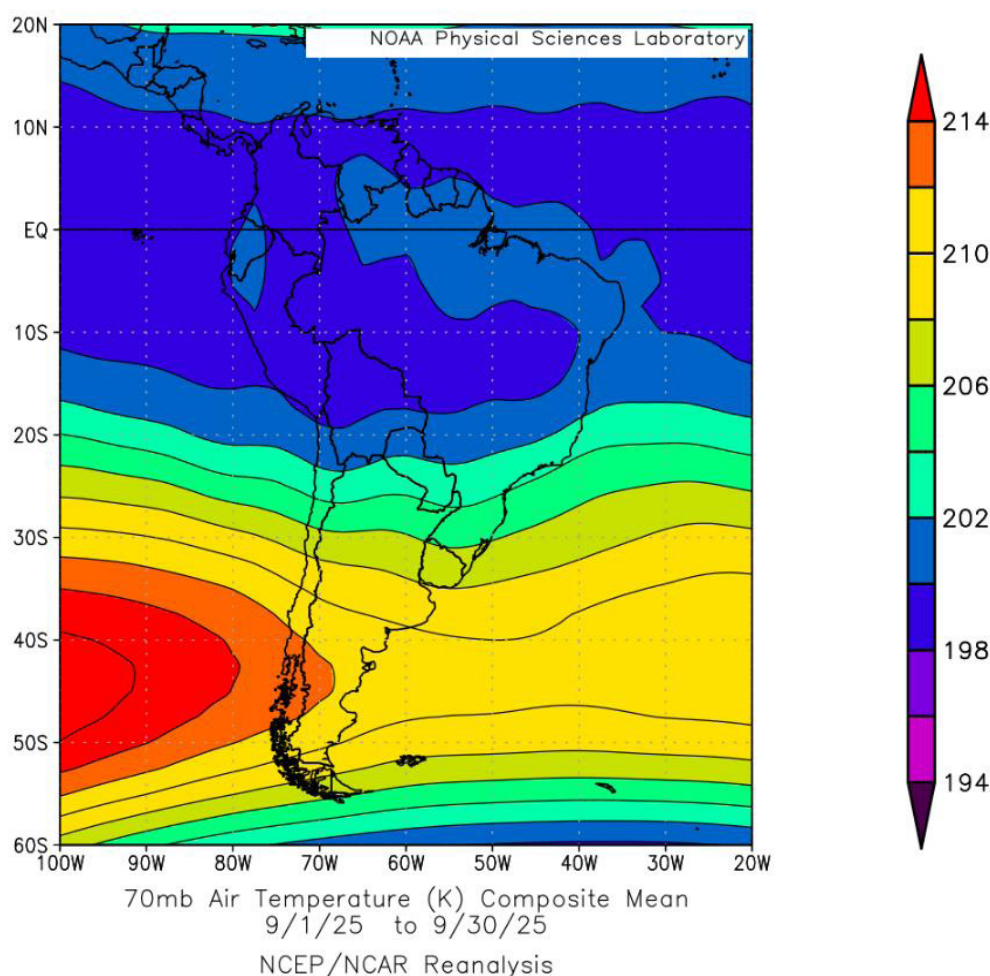
La variabilidad de la concentración de ozono en el nivel de 70 hPa, asociado a los cambios en la temperatura es una consecuencia del movimiento de traslación de la tierra con respecto al sol, así como a procesos de transferencia radiativa y reacciones fotoquímicas. Se suma también, el proceso de la circulación 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. Hay que destacar el impacto que tiene la emisión de sustancias agotadoras de ozono (elementos substitutos) hacia la atmósfera por parte del factor antropogénico. 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 -70.0°C , menor en valor numérico al mes pasado, pero físicamente “más cálido”. La temperatura calculada en este mes, fue de

-73.0°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 (tal como se ha descrito en párrafos anteriores). En el presente mes, el promedio mensual registrado en superficie fue de 246.4 UD, superior al mes anterior.

FIGURA N° 10

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



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

La temperatura a nivel de 100 hPa promedio mensual fue de -77.0°C, mientras que a nivel de 70 hPa fue de -73.5°C, valores relativamente distantes con

una diferencia entre ellas, de 3.5°C. Cabe mencionar que 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.

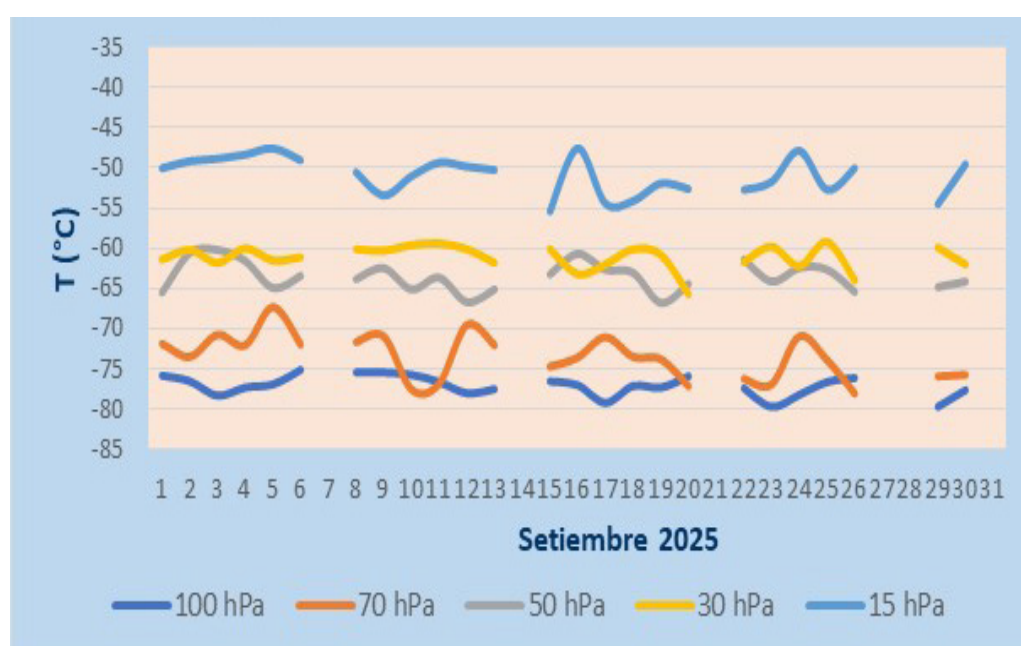
A nivel de 50 hPa, la diferencia es más notoria con una temperatura promedio del mes de -63.5°C (atmósfera relativamente fría, algo inferior al mes anterior).

En la media estratósfera, a 30 hPa, la temperatura promedio registrada fue de -61.0°C, para finalmente, a 15 hPa, la temperatura fuera de -50.9°C. La relación de mezcla de ozono en esta capa ha sido moderada.

La temperatura promedio mensual a nivel de 70 hPa obtenida por la NOAA (-70.0°C) y la obtenida por un equipo de altura (-73.0°C), valores relativamente 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 por la formación del vórtice polar y la propia estacionalidad.

En ese sentido, la tendencia del régimen térmico durante el mes, fue por lo general a un ligero calentamiento en latitudes medias.

FIGURA N° 11
Régimen térmico en la baja y media estratósfera de Junín



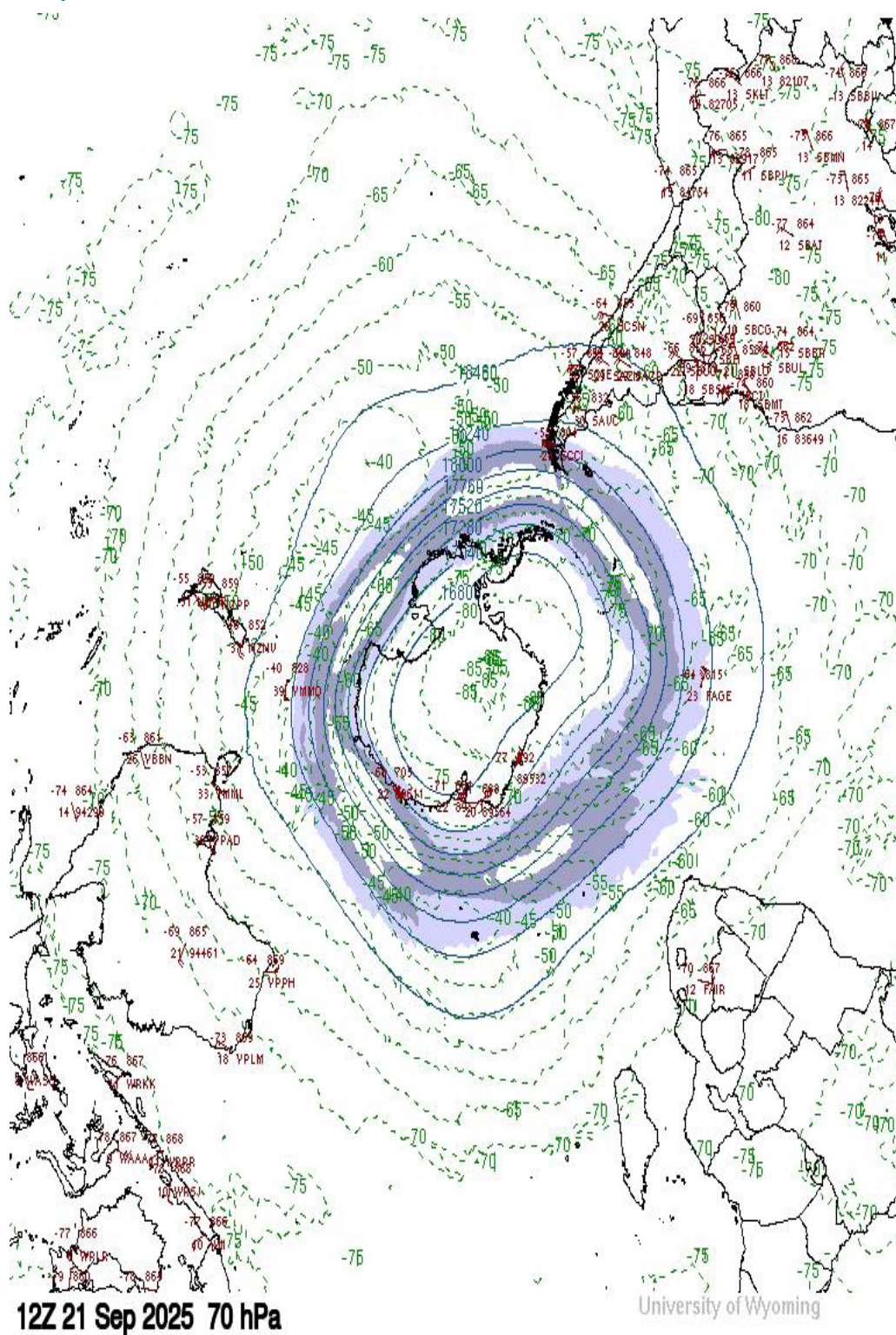
El comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur en un día típico de setiembre, es mostrado en la Figura 12 (University of Wyoming) en donde se aprecia que las temperaturas, específicamente, en el continente Antártico han registrado mayormente valores de -85°C , debido todavía a condiciones muy “frías” por efecto del inicio de la estación astronómica de primavera. Las temperaturas en dicho continente continuarán con un calentamiento en los siguientes meses debido al cambio de flujos de viento que van a permitir la disminución en intensidad del vórtice polar (manchas de color morado).

Cabe remarcar que la posición de la tierra con respecto al sol (inclinación con respecto al plano ecuatorial) juega un papel importante en los procesos físico-químicos de la atmósfera. Asimismo, es importante señalar que aparte del factor astronómico, un incremento de la temperatura en ese nivel de la estratósfera (70 hPa) de la región tropical, se encontraría relacionada con un aumento en las concentraciones de ozono y viceversa, pero no es tanto así porque van 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), ha registrado un ascenso, especialmente en los niveles de 5 hPa, 2 hPa y 1 hPa, por debajo de sus normales climáticas. Los procesos de transferencia radiativa vienen siendo moderados debido al inicio de la estación mayormente cálida, 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 -73.0°C , proceso físico ligeramente frío comparado al mes pasado, pero a pesar de ello las concentraciones de ozono atmosférico, en esta capa, se han incrementado con respecto al mes anterior, por efecto de factores como los flujos de viento con direcciones del oeste, noroeste y norte principalmente, aunados a una moderada relación de mezcla de ozono atmosférico a nivel de 70 hPa.

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (21 setiembre 2025)



Fuente: Universidad de Wyoming

III.-CONCLUSIONES

1. El mes de setiembre se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono (Columna total de ozono) sobre nuestro país (los medidos en superficie) son superiores al mes de agosto. El promedio mensual fue de 246.4 UD, mientras que en el mes de agosto fue de 245.9, permitiendo concluir que los flujos de vientos zonales positivos y los cuasi 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 240.5 UD a 252.5 UD, límites inferiores y superior, menor y mayor al mes anterior. Este incremento, está ligado mayormente a la mayor relación de mezcla del ozono en capas de la estratósfera, aunados a los flujos de viento provenientes del oeste, noroeste y norte mayormente en la estratósfera baja.
3. Con respecto a la distribución vertical del ozono según información obtenida por el Metop-C/COME-2, durante un día típico del mes de setiembre, 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 7 hPa (baja y media estratósfera) con valores que oscilaron entre 12 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 250 hPa y 6 hPa con valores entre 20 UD y 33 UD. La variabilidad en las concentraciones de ozono de este mes con respecto al de agosto, ha sido influenciada, en un primer momento, por vientos del oeste, noroeste y norte (mayormente) y en un segundo momento por una mayor actividad fotoquímica a nivel de 70 hPa.
4. El registro de concentraciones de ozono atmosférico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, oscilaron entre 12 UD y 23 UD, entre la baja y media estratósfera 150 hPa y 8 hPa a lo largo de 30°N - 90°N). Durante el mes de setiembre se registraron procesos físicos de escasa relación de mezcla de ozono de latitudes medias a altas, influenciados mayormente por los vientos del este y sureste, en algunos momentos del noreste, el cual permitió mantener concentraciones de ozono atmosférico bajas, algo similar al mes anterior. Por otro lado, en latitudes bajas del mismo hemisferio se registraron concentraciones de ozono entre 12 UD y 23 UD a una altura entre 70 hPa y 7 hPa. A estos procesos

.....

se les suma 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 incremento con valores entre 3.80 ppmv y 4.20 ppmv, lo cual demuestra que, a pesar de encontrarnos en el límite superior de la estratósfera baja, se registran aun ciertas cantidades de vapor de agua (con tendencia a incrementarse), lo cual tiene incidencia en las concentraciones de ozono atmosférico. Cabe resaltar que concentraciones mayores, 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 continuado con el incremento, han sido los vientos mayormente del oeste, noroeste y norte en la estratósfera baja transportando moderadas concentraciones de ozono, mientras que los flujos del este en la estratósfera media y alta, trasladaron escasas concentraciones.
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, mayores al mes pasado, especialmente en la región sur (costa, sierra y selva), con valores que oscilaron entre 275 UD y 300 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 setiembre se caracterizó por registrar valores ligeramente superiores (-85.0°C) al mes pasado (físicamente “más cálida”), guardando cierta relación con una anticipada disminución de la intensidad del vórtice polar, permitiendo cierta mezcla de ozono proveniente de latitudes medias con los de latitudes altas trayendo como consecuencia un ligero incremento de las concentraciones de ozono. Sobre nuestro país se registra una temperatura de -73.0°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 fueron relativamente parecidas al mes anterior pero con una tendencia a la disminución, especialmente en la capa de 70 hPa, donde se registró un ligero enfriamiento de la atmósfera como consecuencia de los vientos zonales positivos y cuasi meridionales, así como esporádicos ingresos de vientos zonales negativos. Mientras que en la estratósfera media fueron más bajas (enfriamiento).
 10. A medida que transcurren los días, la actividad fotoquímica se incrementa debido al inicio de la temporada cálida como la primavera.
 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. Julio Ernesto Urbiola del Carpio

jurbiola@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 noviembre 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:**