

FEBRERO 2025
Vol.02

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





Introducción

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

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

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

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

ANTECEDENTES

El SENAMHI cuenta con el Observatorio de Vigilancia Atmosférica (OVA) Marcapomacocha, ubicada en la sierra central del país (provincia de Yauli y departamento de Junín), asimismo, se encuentra a una altitud de 4,479 metros sobre el nivel del mar, a una latitud de 11°24'18"Sy 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

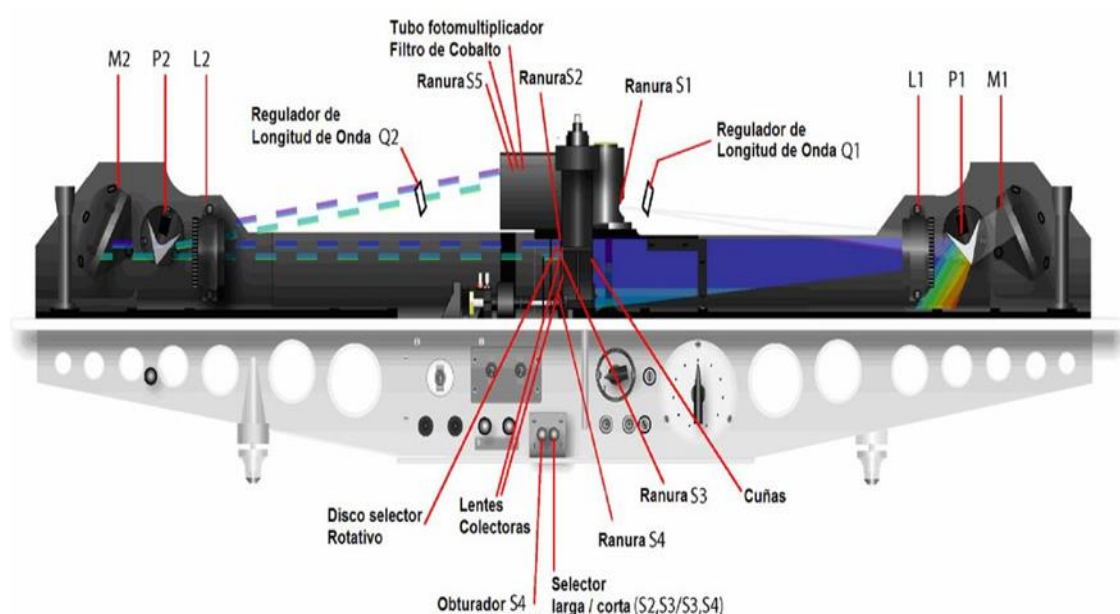
1. MEDICIÓN EN SUPERFICIE

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

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

FIGURA N°1

Funcionamiento del Espectrofotómetro Dobson



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

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

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

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

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

2. MEDICIÓN DESDE SATÉLITE

Uno de los satélites que mide en forma continua la concentración de ozono es el satélite AURA el cual dispone de cuatro instrumentos para la medición de la tropósfera superior, estratósfera y mesósfera. El instrumento de monitoreo de ozono (OMI) continúa los 34 años de observación del ozono que comenzaron con el detector ultravioleta de retrodispersión (Backscatter Ultraviolet Detector, 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 hiperespectrales del instrumento (recopilación y procesamiento de la información a lo largo de todo el espectro electromagnético) mejoran la precisión y exactitud de las cantidades de ozono total.

II. RESULTADOS

En el mes de febrero la estratósfera baja y media de la región tropical ha registrado características térmicas con un ligero enfriamiento para luego mantenerse estable, mientras que en la estratósfera alta las condiciones han sido variables dado de que en un primer momento descendieron y en un segundo momento se incrementaron. Pero siempre por debajo de sus valores normales. Las concentraciones de ozono registraron una ligera disminución en este mes, los cuales han estado asociados mayormente a un descenso de la temperatura en la estratósfera baja y media, así como a una persistencia de vientos del este. La relación de mezcla de ozono, registró una ligera disminución el cual también ayudó a que las concentraciones de ozono atmosférico disminuyeran sobre nuestras latitudes.

En lo que respecta específicamente al flujo de vientos, se registraron mayormente del este (con una mayor persistencia que el mes pasado), tanto en la estratósfera baja (100 hPa, 70 hPa y 50 hPa) como en la media (30 hPa y 15 hPa) mientras que, en la parte alta (5 hPa, 2 hPa y 1 hPa), los vientos mayormente fueron del oeste. Los primeros, en el caso de 70 hPa y 50 hPa, aportaron bajas concentraciones de ozono debido a flujos del este.

En el caso de la alta tropósfera, los sistemas atmosféricos que gobernaron el tiempo sobre nuestro país, permitieron el traslado de grandes cantidades de humedad permitiendo que se incrementen y tenga incidencia en el comportamiento del ozono atmosférico. En la estación de verano se incrementan las concentraciones de vapor de agua en la tropósfera y parte de la estratósfera baja. La convección húmeda mínima ha continuado registrada, como hace varios meses, en la región norte del país (específicamente departamento de Tumbes y parte de Piura) debido a la invasión de masas de agua cálidas provenientes del hemisferio norte, los cuales han sido frecuentes en gran parte del mes, presentando incidencias no solo en la circulación de los vientos de la atmósfera baja sino también en la atmósfera alta (entre la alta tropósfera y baja estratósfera). Se debe tener presente que estos procesos, así como la presencia de alta concentración de humedad en la baja estratósfera (100 hPa principalmente) llegan a tener repercusión en las propiedades físicas y químicas de dicha capa, permitiendo obtener valores de ozono atmosférico menores al mes pasado aunados a la circulación de los vientos.

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 el mayor establecimiento de la estación de verano austral, interactúan entre sí en las diferentes capas de la atmósfera, permitiendo el transporte de calor o energía. En ese sentido, se analiza la capa de 70 hPa (día 07 de febrero) dado de que es representativa de la baja estratósfera. A lo largo del mes, climáticamente sobre nuestras latitudes, las concentraciones de ozono empiezan a registrar un comportamiento a un ligero ascenso debido a la aparición de vientos meridionales, pero con menor persistencia, los cuales aportan moderadas concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes. Durante, el mes de febrero los vientos fueron casi en su totalidad del este y sur este, permitiendo una disminución de la temperatura en dicho nivel, para luego a partir de la segunda quincena registrar vientos variables como por ejemplo del norte y noreste. Cabe mencionar que también se registraron vientos bastante esporádicos del sur los cuales aportaron escasa cantidad de ozono atmosférico. Los flujos de viento que dan pie a la formación de núcleos anticiclónicos, en esta parte del hemisferio, solo se registraron en el Pacífico sur, así como en el Atlántico sur.

En latitudes medias y altas del hemisferio sur, la circulación de vientos ha continuado siendo zonal positivo aportando concentraciones altas de ozono atmosférico sobre estas regiones debido a la no presencia del vórtice polar.

En cuanto al régimen térmico (latitudes 25°N – 25°S), tal como sucintamente se mencionó anteriormente, se puede señalar lo siguiente: en la estratósfera baja se ha observado comportamientos por debajo de sus valores normales, así como, por encima (100 hPa y 70 hPa, 50 hPa respectivamente). En el caso del nivel de 100 hPa, los valores de temperatura por debajo de sus normales, se debió al incremento de la humedad en la atmósfera, mientras que en los dos niveles superiores disminuyeron con respecto al mes pasado, pero estuvieron por encima de sus valores climáticos. En los niveles de 30 hPa y 10 hPa se registraron temperaturas por encima de sus normales, pero hasta la primera década del mes, a partir de la segunda década los valores disminuyeron y se ubicaron por debajo de sus patrones climáticos. Para el caso de los niveles de 5 hPa, 2 hPa y 1 hPa, el comportamiento estuvo muy por debajo de sus valores climáticos. Sin embargo, a partir de la segunda quincena del mes mostraron un incremento (en la primera quincena disminuyeron). A pesar de todo este comportamiento de la estratósfera, las concentraciones de ozono lograron registrar una ligera disminución en la región tropical, cuando climáticamente la tendencia debió ser al ascenso. El

comportamiento térmico en la baja y media estratósfera estaría relacionado por la presencia de vientos del este, sur este y noreste en esta región, especialmente a nivel de 70 hPa y 50 hPa, 30 hPa y 15 hPa con baja relación de mezcla de ozono, especialmente a partir de la segunda quincena del mes. Mientras que en la alta estratósfera todos los flujos de viento fueron del este con temperaturas por debajo de sus valores climáticos (parecido al mes pasado). En el caso de Perú, de acuerdo a la información de superficie, las concentraciones de ozono en este mes han sido inferiores al mes pasado (a nivel promedio mensual), con una tendencia a registrar un ligero incremento en el mes siguiente. Cabe enfatizar que tanto los valores mínimos y máximos diarios de ozono sobre nuestro país, en este mes, fueron superiores. La amplitud entre dichos valores en febrero, ha sido similar al mes pasado. Figura 2.

Con el fin de sustentar lo descrito a nivel de baja estratósfera, podemos mencionar que, de la vigilancia realizada en el mes de febrero a nivel de superficie, en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica (OVA) Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario de la concentración de ozono atmosférico en general, estuvo oscilando entre 237.6 UD y 249.6 UD (UD = Unidades Dobson). A nivel promedio mensual fue inferior.

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

Este proceso físico, se enmarca en que durante las primeras horas de la mañana la incidencia de la radiación ultravioleta, en esta temporada, se incrementa, por ende las concentraciones de ozono son relativamente altas (debido al ozono residual), a medida que la intensidad de la radiación ultravioleta se incrementa en forma paulatina hacia el mediodía, donde los valores son entre muy altos a extremadamente altos (en los meses de verano son mayores), permite una reducción del ozono (mayor actividad fotoquímica) y en horas de la tarde a medida que el sol va llegando al ocaso (disminución de la intensidad de la radiación solar) las concentraciones de ozono vuelven a incrementarse. Este comportamiento horario también va a depender de otros factores como los ambientales (reacciones químicas durante el día, de compuestos o gases generadores de ozono troposférico) y meteorológicos (transporte de ozono de y hacia otras latitudes). Un punto importante es el proceso de formación y destrucción del ozono por efectos fotoquímicos, mientras que la intensidad de la radiación solar se incrementa, dicha actividad será mayor y viceversa. En el periodo analizado, la intensidad de la radiación ultravioleta ha mostrado un ligero incremento debido al mayor establecimiento de la estación de verano. En algunas

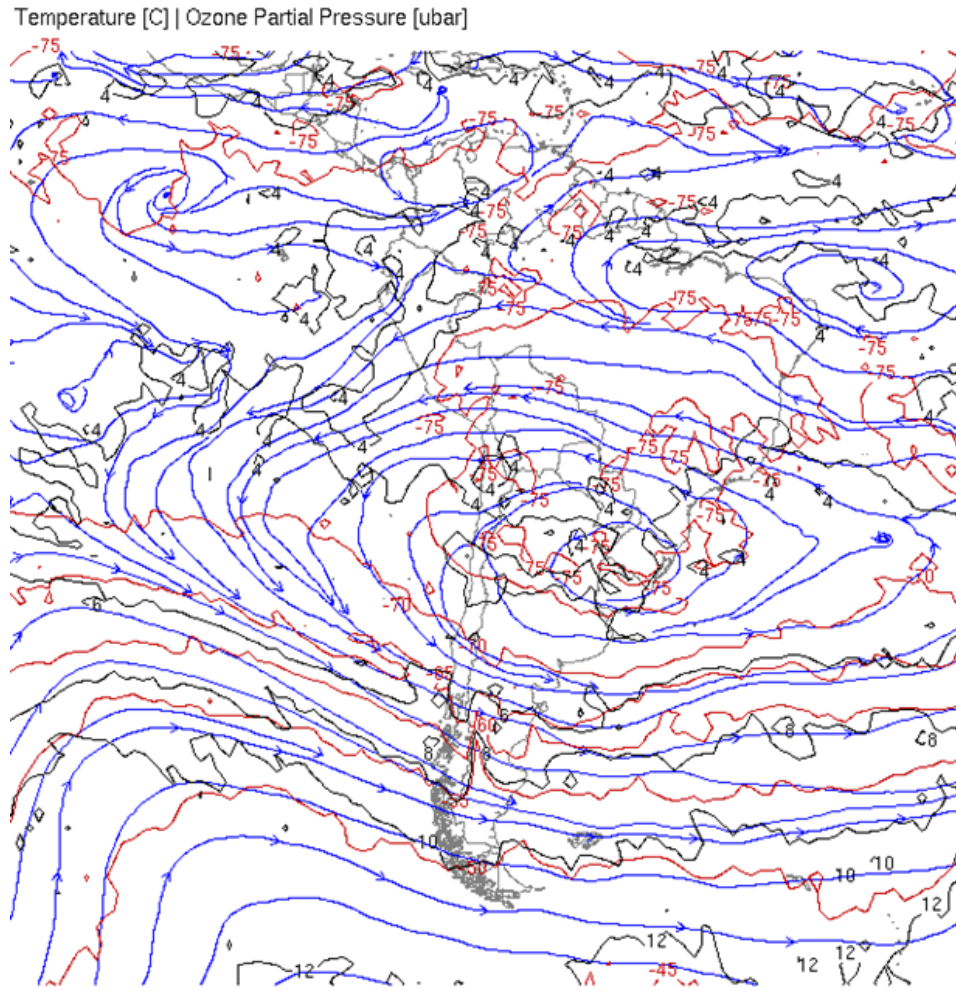
regiones, especialmente en el sur han sido ligeramente mayores al mes pasado, mientras que en la región central y norte los niveles fueron variables al igual que el mes pasado (en algunos lugares fueron similares y en otros menores). La cantidad de aerosoles ha registrado un incremento (más en la sierra y selva) debido a la temporada de lluvias lo cual permite registrar mayor humedad sobre nuestras regiones permitiendo una menor transparencia atmosférica, principalmente en la región andina. Se espera que en el mes siguiente dichos valores de radiación, se presenten algo parecidos debido a la culminación de la estación de verano.

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

FIGURA N°2

Flujos de masas de aire cuasi meridionales en el hemisferio norte

Fuente: Weather Service de la University of Wyoming



University of Wyoming

0 Hour 70 hPa Forecast Valid 18Z Fri 07 Feb 2025

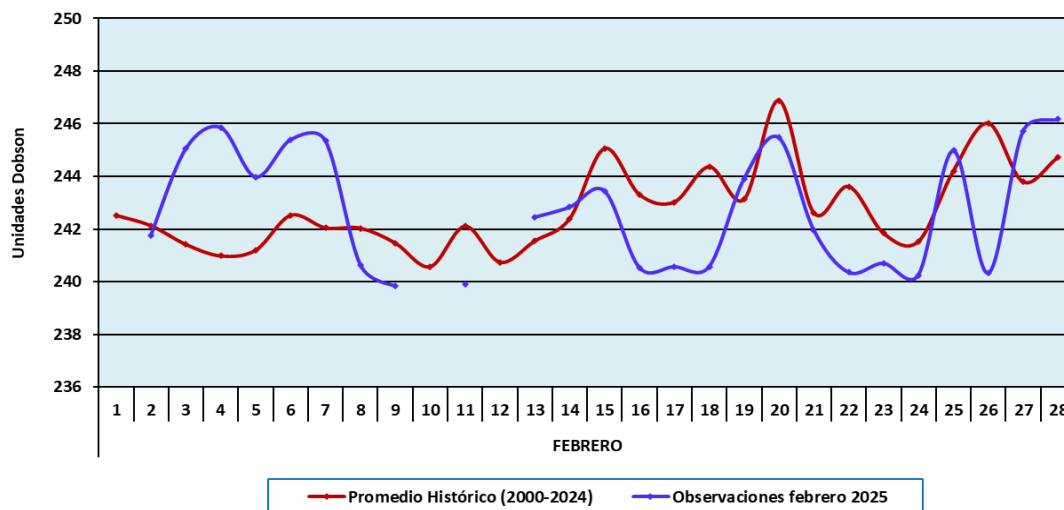
El comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2024) del mes de febrero oscila entre 240.7 UD y 246.9 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de febrero del presente año, oscilaron entre 239.8 UD y 246.2 UD.

En la figura se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 56% por debajo de sus valores climáticos, mientras que un 44% por encima (cabe mencionar que hubo un desfase de hasta 6 UD entre el valor histórico y el registrado durante el mes de febrero del presente año).

Cuando se comparan ambas series se ha venido observando, un comportamiento variable, con valores que en algunos momentos se acercan a sus normales (por ejemplo durante la segunda quincena y en otros, más bien alejándose, lo cual se atribuye a los cambios en la circulación atmosférica (vientos variables provenientes del este, sureste y noreste), así como también por la cantidad de vapor de agua emitida a la atmósfera por el volcán Hunga Tonga en el Pacífico Sur, en enero de 2022, el cual se piensa, va originando también efecto en latitudes bajas muy aparte de las medias y altas del hemisferio sur. Las concentraciones de ozono sobre nuestro país, con respecto al mes de enero ha registrado valores inferiores (con una tendencia a presentar un incremento a nivel promedio mensual).

FIGURA °3

Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Febrero 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 242.7 UD inferior en 0.4 UD al promedio mensual multianual (243.1 UD).

Se debe tener presente que, en la región tropical durante los meses de la primavera austral y parte del verano, vale decir desde el 21 de setiembre hasta el 31 de enero, 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 (vientos del este mayormente, así como una menor relación de mezcla) y una alta actividad fotoquímica. La circulación de los vientos, a nivel vertical, desde la tropósfera hacia la estratósfera permite el traslado de cantidades de ozono los cuales a lo largo de los meses lo van redistribuyendo hacia latitudes mayores (Circulación Brewer-Dobson), permitiendo un déficit de ozono atmosférico en latitudes bajas (mucho más en los meses de mayo-junio). Esta circulación está conducida por ondas atmosféricas la cual puede ser acelerada por el cambio climático repercutiendo en la distribución global de las concentraciones de ozono. En el mes de febrero, se ha empezado a registrar masas de aire provenientes principalmente del primer y cuarto cuadrante al nivel de 70 hPa (parecido al mes anterior), ósea vientos del este, y sureste. Claro está que también se registraron vientos de otras direcciones (pero con menor persistencia), como por ejemplo del oeste y norte, trasladando bajas concentraciones de ozono atmosférico, lo que hizo que se registre una ligera disminución, sobre nuestras latitudes.

Los procesos de advección húmeda han continuado siendo bajos en febrero, con excepción de lo ocurrido la zona norte del país (departamento de Tumbes y parte de Piura), donde se ha registrado invasiones de masas de agua cálidas provenientes del Pacífico norte durante gran parte del mes, manteniendo condiciones de alta humedad en toda esa región. Probablemente se haya registrado algún proceso de advección húmeda tropósfera-estratósfera (regionalmente se han registrado condiciones normales a cálidas), el cual haya sido un factor adicional para que las concentraciones de ozono disminuyan comparados al mes anterior. A esto se le añade el flujo de vientos provenientes del este, noreste y sureste (a nivel de 70 hPa), los cuales, en cierta manera, han sumado, aportando bajas concentraciones de ozono hacia nuestras latitudes. Un factor que interactúa con estos procesos es la humedad atmosférica, el cual se ha incrementado (con respecto al mes pasado) a nivel de 100 hPa, pero manteniendo valores bajos en las demás capas de la estratósfera baja y media.

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 71% de días del mes de febrero,

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 89% de días del mes estuvieron por encima de lo registrado en superficie. Figura 4.

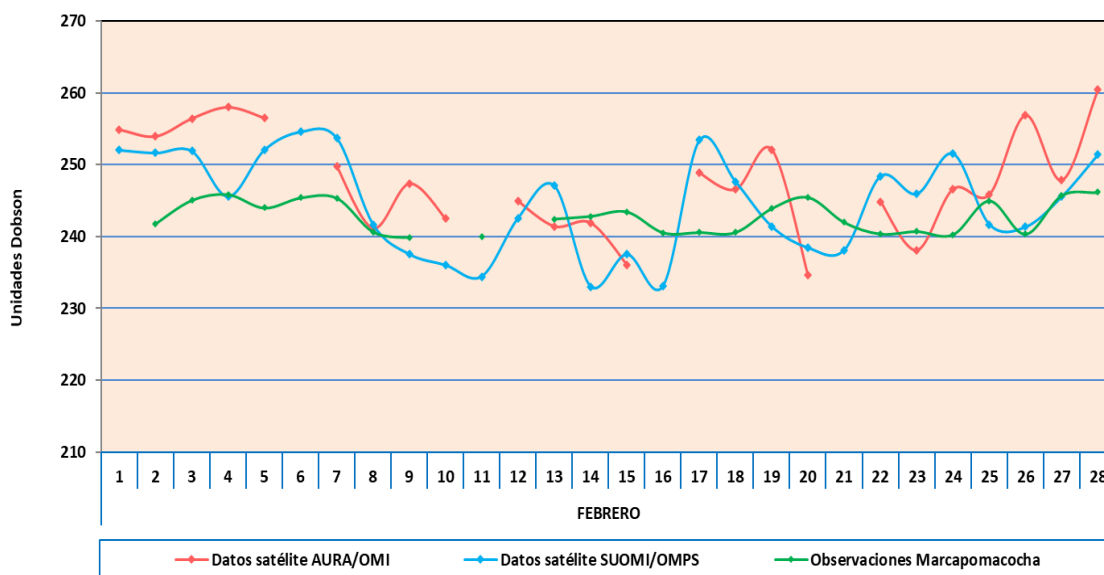
De este análisis podemos decir que la información proveniente de estos dos satélites es mayor a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson, cuando anteriormente eran inferiores. Existen días donde las diferencias entre los valores registrados por el satélite y el medido en superficie, son bastante altas en el orden de 1 a 17 UD como producto del tipo o forma de medición que realiza el satélite, así como por factores de circulación atmosférica.

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

El pronóstico, de acuerdo a la climatología, es que las concentraciones de ozono se incrementen desde febrero a marzo debido a los mayores procesos de reacciones fotoquímicas como producto del mayor establecimiento de la estación de verano.

FIGURA N°4

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



Perfil Vertical de Ozono Atmosférico

Por lo general, el 10% de la concentración de ozono se encuentra en la tropósfera y el otro 90% en la estratósfera. En ese sentido, cobra vital importancia monitorear el comportamiento vertical de este gas en diferentes niveles de la atmósfera para conocer su variabilidad en el tiempo y poder relacionarlos con posibles cambios en los sistemas atmosféricos característicos de la región (cambios en la transferencia radiativa o circulación de los vientos). Se debe mencionar que en los últimos 40 años el uso de las sustancias agotadoras de ozono empezó a disminuir para dar paso al uso de sustancias sustitutas, los cuales al fin y al cabo destruyen el ozono atmosférico, pero en menor cantidad. Actualmente es notoria, la emisión de gases de efecto invernadero los cuales tienen impacto 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.

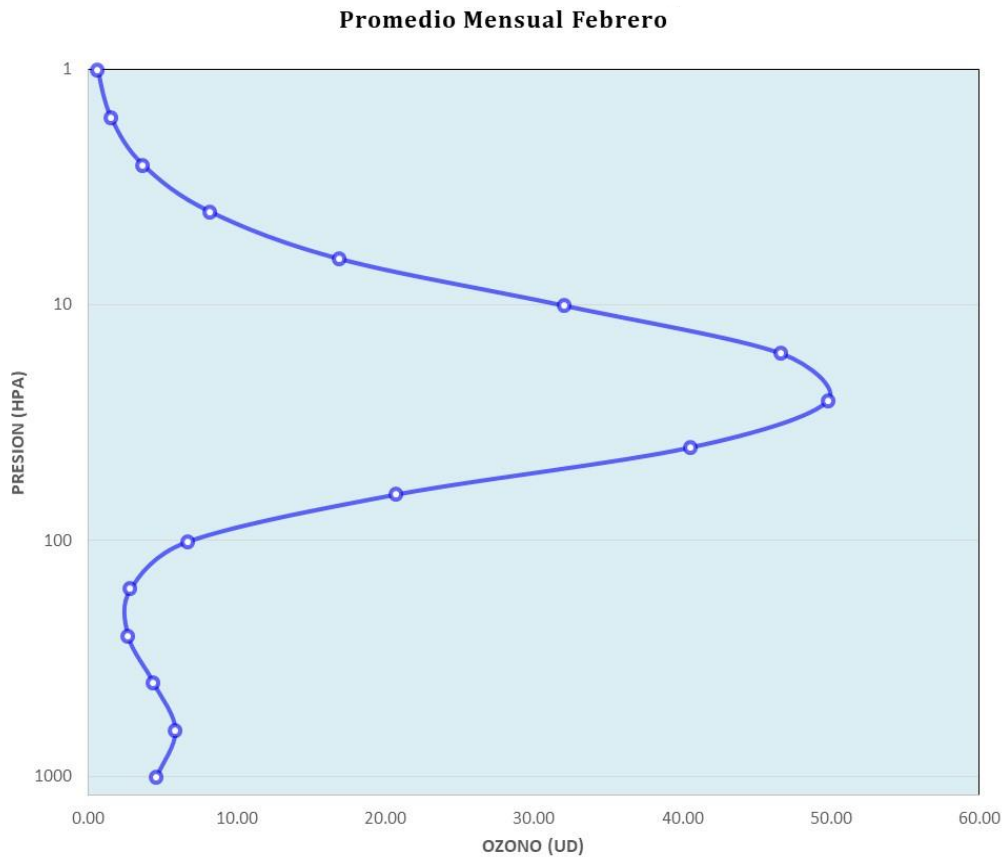
Teniendo en cuenta lo descrito líneas arriba y de acuerdo a la figura 5, obtenido de la National Aeronautics and Space Administration – NASA, plataforma OMPS, se ha podido observar el comportamiento típico del perfil vertical de ozono para el mes de febrero en el OVA Marcapomacocha.

A nivel de tropósfera generalmente, las concentraciones de ozono disminuyen con la altura, para luego a nivel de estratósfera sufrir un incremento ostensible debido al incremento de la temperatura. En la estratósfera alta empiezan a disminuir en forma paulatina. El gráfico presentado es para remarcar que las mayores concentraciones de ozono se registran en esta segunda capa de la atmósfera. Se observa que las concentraciones de ozono son ligeramente menores a lo observado en el mes pasado, de acuerdo al perfil mostrado. Las concentraciones mayores la encontramos en la media estratósfera con valores entre 23 UD a 48 UD.

FIGURA N°5

Perfil vertical de ozono atmosférico – OVA Marcapomacocha

Fuente: National Aeronautics and Space Administration – NASA



Según información de perfil vertical de ozono atmosférico para un día típico del mes de febrero (día 18) 2025 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones ligeramente menores al mes pasado, cuyos valores han oscilado entre 13 UD y 25 UD, entre la baja y media estratosfera (el área de cobertura latitudinal de estas concentraciones bajas se dio entre 35N°-55°N). A partir del 21 de diciembre, dicho hemisferio, se encuentra en la estación de invierno, registrándose concentraciones moderadas de ozono en latitudes altas con tendencia a disminuir debido a la presencia de un vórtice polar con dos núcleos, así como a la influencia de los vientos mayormente meridionales sobre dichas latitudes. Por otro lado, el régimen de temperaturas en la estratosfera baja y media se han mantenido por debajo de sus valores normales durante el mes.

Hay que tener presente que, en la región tropical, se forma la mayor cantidad de ozono siendo incluso mayores a los formados en latitudes medias y altas de ambos hemisferios, pero debido a factores de circulación regional como el de Brewer-Dobson, la Oscilación Quasi Bienal, así como de procesos de reacciones fotoquímicas y térmicas, en la estratosfera 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 (13 UD a 23 UD) en latitudes bajas del hemisferio norte fue de 60 hPa y 8 hPa, mientras que en latitudes bajas del hemisferio sur (13 UD a 25 UD) la altura fue de 65 hPa y 8 hPa. En latitudes medias del hemisferio sur más bien se registraron concentraciones un poco mayores con valores entre 12 UD y 21 UD, pero a una altura entre 150 hPa y 15 hPa. La altura tanto en latitudes bajas y medias del hemisferio sur han continuado siendo superiores al mes pasado.

En esta temporada, las concentraciones de ozono, por lo menos en esta parte de la región tropical, han registrado una ligera disminución, por factores de circulación de vientos mayormente zonales negativos a nivel de 70 hPa), 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 22 UD, especialmente en la región central y sur del país, mientras que, en la sierra norte, las concentraciones oscilaron entre 13 UD y 23 UD a una altura de 80 hPa y 8 hPa.

En los primeros niveles de la atmósfera (tropósfera) si bien es cierto que las concentraciones de ozono son bajas (oscilan, generalmente, entre 1 UD y 10 UD), esto se debe a los efectos residuales de la formación del ozono del día anterior, así como también a otros procesos físico-químicos. En la estación de verano austral, estos procesos son intensos debido al incremento de la actividad solar, mientras que en invierno disminuyen.

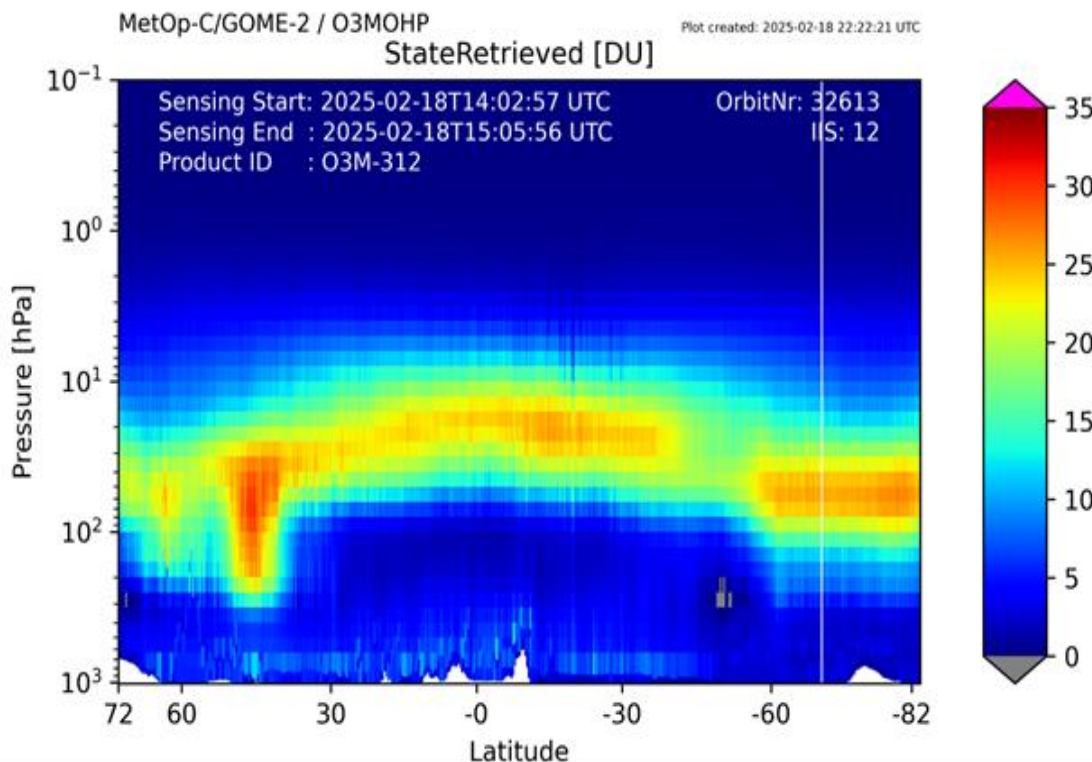
Debe considerarse que la forma que adquiere la distribución vertical es típica en la atmósfera, sabiendo que las concentraciones pueden variar de acuerdo a la latitud, estación astronómica, condiciones meteorológicas, así como al efecto que tienen los gases de efecto invernadero, especialmente en la estratósfera baja aunados últimamente con el incremento 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 este, sureste y noreste, pero también se han registrado vientos del norte y oeste los cuales han sido muy esporádicos aportando concentraciones moderadas de ozono sobre nuestras latitudes, pero aun así las concentraciones de ozono disminuyeron. El hemisferio norte ingresó a un periodo más frío, dado el mayor establecimiento de la estación de invierno, 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.

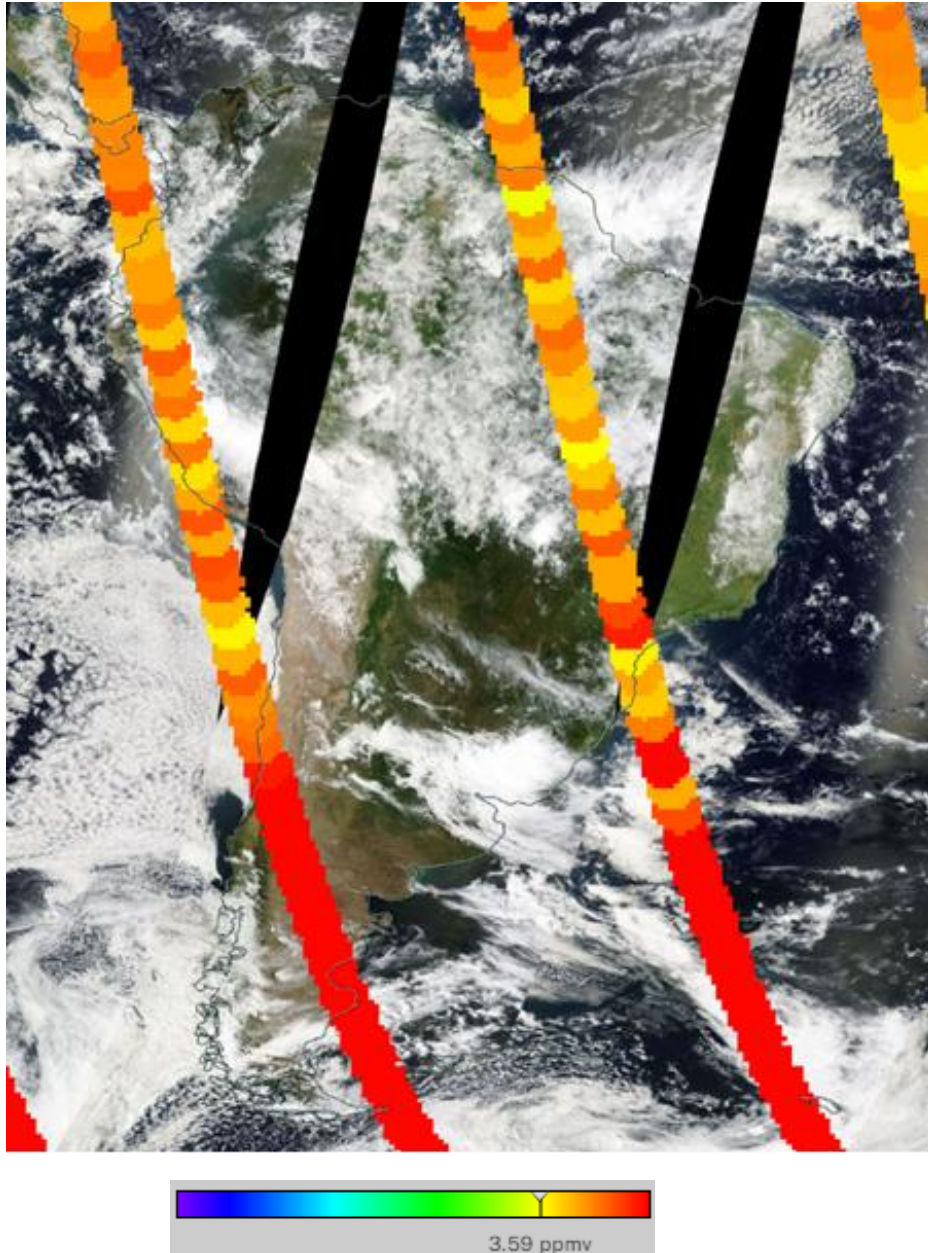
Hay que recalcar que a nivel global continua la disipación del periodo cálido (aunque todavía quedan remanentes) vivido desde el año 2023 hasta la fecha los cuales permiten tener almacenado calor en la atmósfera y por ende concentraciones moderadas de humedad relativa, los cuales tienen repercusión en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

En la figura 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 (16 febrero 2025), obtenida de la Earth Data de la National Aeronautics Space Administration - NASA. En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua entre moderadas a altas (aunque algo menor al mes pasado) especialmente en la región norte del país, con una tendencia a mantener dichos valores. Por ejemplo, en la región norte del país, las concentraciones de vapor de agua oscilaron entre 3.93 ppmv a 4.17 ppmv, mientras que en la central valores entre 4.04 ppmv a 4.26 ppmv. En la región sur del país, concentraciones entre 3.73 ppmv y 4.19 ppmv. La influencia de la temporalidad en la que se encuentra el hemisferio sur especialmente en la tropósfera alta influye grandemente en las concentraciones de vapor de agua que se puedan registrar en dicha capa permitiendo en cierta manera una disminución de las concentraciones de ozono atmosférico en esta región. Esta disminución también está asociado a otros factores como la 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 febrero fue de 37%, mientras que a nivel de 70 hPa fue de 11%, por otro

lado, a 50 hPa fue de 3%. Finalmente, en la parte media de la estratósfera, vale decir, 30 hPa, la humedad relativa fue de 2% y a nivel de 15 hPa de 1%. El contenido de humedad en la atmósfera tuvo un incremento con respecto al mes pasado (especialmente a nivel de 100 hPa). Cabe mencionar que a partir del 21 de diciembre de 2024 se inició la estación astronómica de verano, generando procesos de convección en la atmósfera baja (tropósfera alta) del hemisferio sur, lo cual tiene injerencia con las concentraciones de ozono que se registran en esta parte del país especialmente en la estratósfera baja.

COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO SOBRE EL PERÚ

En cuanto al análisis de los mapas en forma diaria, del mes de febrero, 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, continúan presentando valores algo menores a lo registrado en el mes de enero, debido al mayor flujo de viento del este, sureste y noreste, mayormente, durante gran parte del mes. Tal como se explicó en párrafos anteriores, se registró un incremento en la concentración de humedad en la baja estratósfera (100 hPa) como producto de flujos de viento mayormente del primer y cuarto cuadrante, lo cual permitió esa disminución. Cabe mencionar que el mayor establecimiento del periodo de lluvias sobre nuestro país el cual interactúa con la baja estratósfera modificando en cierta manera las concentraciones de ozono en ese nivel. Por el lado del Pacífico se registraron concentraciones de ozono entre moderados a altos.

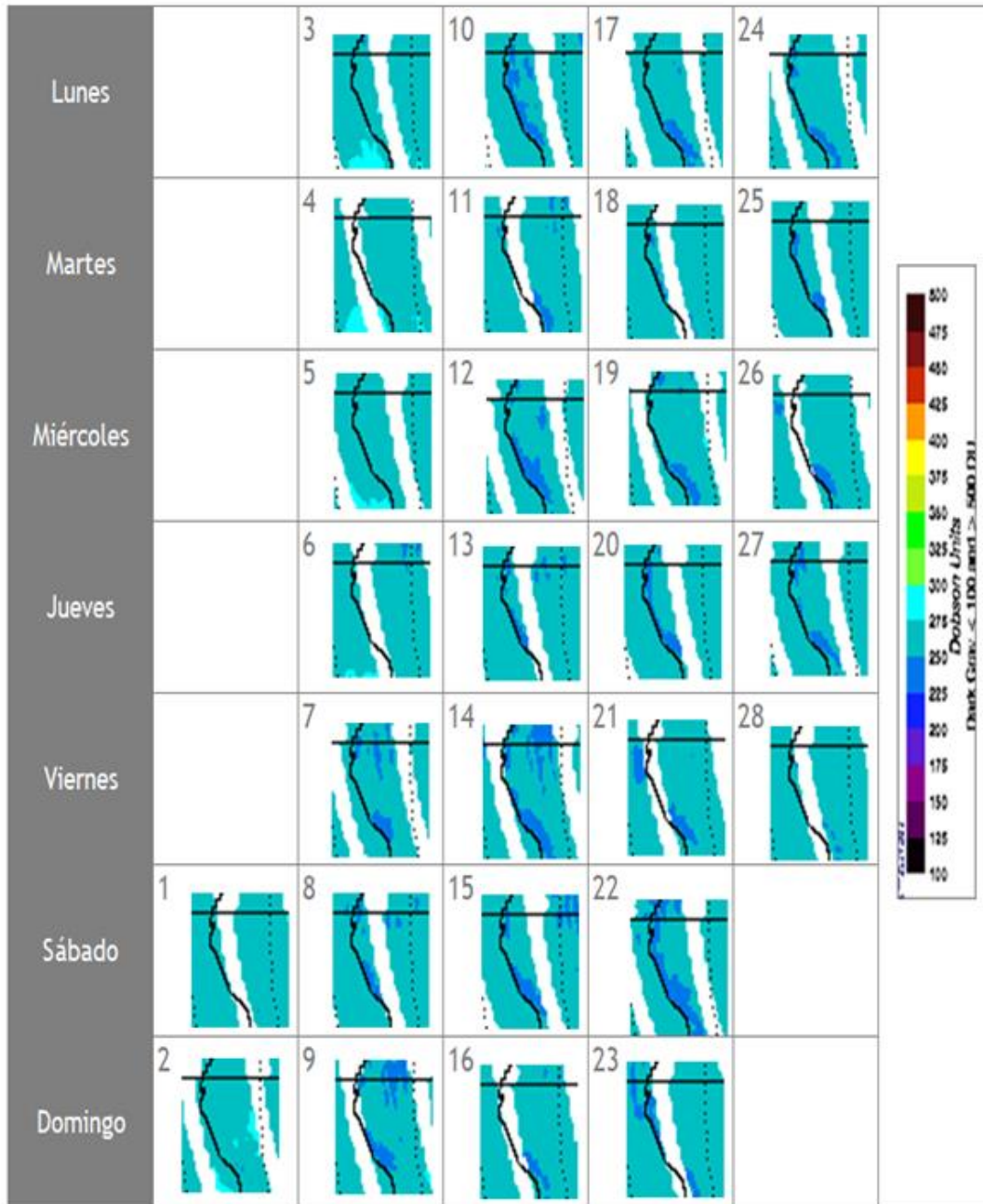
A partir del día 07 de febrero, las concentraciones de ozono atmosférico disminuyeron, especialmente en la región central y sur del país, debido a una menor relación de mezcla de ozono, así como a una mayor actividad fotoquímica. Las concentraciones de ozono en la región central y sur oscilaron entre 225 UD y 250 UD, pero con mayor tendencia por debajo de los 250 UD, debido a los vientos zonales negativos. Durante la primera semana del mes, las concentraciones de ozono fueron mayores con valores entre 250 UD y 275 UD (vientos esporádicos del oeste y norte).

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 febrero no se presentó esa tendencia permitiendo más bien que el ozono disminuyera por efecto de flujos anómalos provenientes del primer y cuarto cuadrante, ocasionadas probablemente por la formación de núcleos anticiclónicos en latitudes bajas del hemisferio sur los cuales no permitieron el ingreso de vientos del norte con mayor persistencia. Hay que considerar también que los vientos del oeste aportan concentraciones de ozono para nuestras latitudes, pero debido a la

formación de sistemas anticiclónicos en dichas latitudes, permiten que los vientos se desvíen hacia otras regiones.

Se debe mencionar que, en este mes climáticamente, las concentraciones de ozono se debieron de incrementar, pero por los motivos expuestos en los párrafos anteriores ocurrió todo lo contrario, permitiendo un ligero incremento en los niveles de radiación ultravioleta.

FIGURA N°8
Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de febrero 2025
 Fuente: Satélite AURA



FLUJO DE VIENTOS EN LA BAJA Y MEDIA ESTRATÓSFERA

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

BAJA ESTRATÓSFERA

El flujo de vientos en el mes de febrero al nivel de 100 hPa estuvo fuertemente influenciado por los provenientes del primer y cuarto cuadrante, ósea del noreste, este, sureste, los cuales han continuado siendo influenciados por los flujos de 200 hPa y 150 hPa, con intensidades que oscilaron entre 6 m/s y 14 m/s con una persistencia de 70%. Asimismo, se registraron vientos del norte, noroeste, y oeste con una persistencia de 30% y con una velocidad entre 2 m/s y 8 m/s. Cabe recalcar que climáticamente los flujos de viento en este nivel son mayormente del este y sureste y noreste.

A nivel de 70 hPa los flujos de viento fueron casi en su totalidad del este con velocidades que oscilaron entre 3.0 m/s y 19 m/s con una persistencia de 84%. En otras direcciones la persistencia fue de 16% con velocidades entre 3 m/s y 6 m/s.

En el nivel de 50 hPa los flujos de viento fueron en su mayoría del este y sureste, con una persistencia del 68% con velocidades entre 5 m/s y 11 m/s.

MEDIA ESTRATÓSFERA

En el nivel de 30 hPa los flujos predominantes de viento fueron del este con una persistencia de 93%. Las velocidades de viento oscilaron entre 5 m/s y 15 m/s. Por otro lado, en otras direcciones la persistencia fue de 7 % con velocidades de viento entre 4 m/s y 10 m/s.

Finalmente, en el nivel de 15 hPa los flujos fueron en su totalidad del este, con velocidades que oscilaron entre 15 m/s y 30 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.

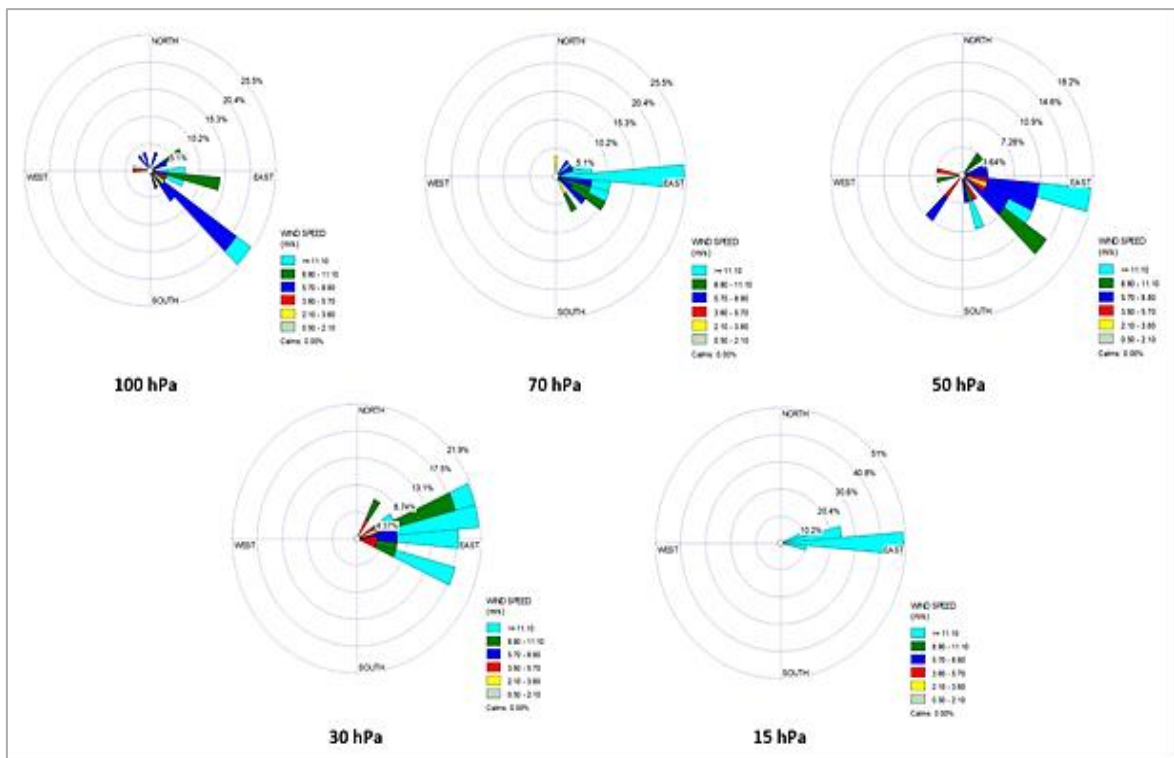
Realizando una síntesis de este análisis, se podrá observar que los vientos provenientes del primer y cuarto cuadrante han sido los más frecuentes tanto en la baja estratósfera como en la media (al igual que el mes pasado), pero al mismo

tiempo se han registrado vientos del norte y oeste, pero bastante esporádico. Tal como se mencionó en párrafos anteriores, en el hemisferio norte se registró un gran vórtice con dos núcleos los cuales no permitieron una mezcla adecuada de ozono permitiendo que no haya flujos del norte que trasladen este gas hacia nuestras latitudes. Cabe mencionar que en esta temporada las concentraciones de ozono climáticamente, se incrementan en forma moderada hasta el mes de marzo debido a la mayor actividad fotoquímica en la alta atmósfera, pero debido a factores mencionados en párrafos anteriores, no lo permitieron. Se recalca que el flujo de vientos (intensidad y dirección) es muy importante en el traslado de altas o bajas concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes.

Por otro lado, en este mes se registró un incremento de la humedad atmosférica, especialmente a nivel de 100 hPa (propio de la estación astronómica), mientras que en las otras capas de la estratósfera se mantuvieron por lo general, similares, los cuales en cierta manera permitieron el descenso del ozono atmosférico, en gran parte del mes. La figura 9, muestra el comportamiento donde los vientos son zonales negativos mayormente, así como vientos del norte y oeste, bastante esporádicos, sustentan los bajos ingresos de ozono sobre nuestras latitudes permitiendo un ligero decremento.

FIGURA N°9

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



TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATÓSFERA Y MEDIA ESTRATÓSFERA

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

El que la temperatura aumente o disminuya en la estratósfera va a depender de las concentraciones de sustancias que agotan el ozono, así como de la estacionalidad y la circulación atmosférica, así como otros fenómenos que ocurren en forma casi periódica (Fenómeno El Niño o La Niña).

En la Figura 10 se muestra la distribución temporal de la temperatura desde el mes de enero 2024 hasta el mes de febrero 2025, al nivel de 70 hPa y entre las latitudes 25°S – 25°N, obtenido de la National Weather Service de la National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA.

Durante los días de registro, la temperatura en ese nivel (línea de color rojo), registró un descenso durante la primera quincena del mes, para después mantenerse estable, tratando de acercarse a sus valores climáticos (pero aun así por encima de sus normales) tornándose en una atmósfera más fría, tal como lo muestra la figura 10, permitiendo una cierta disminución en las concentraciones de ozono atmosférico en dicha franja tropical. Debido a este comportamiento térmico del aire en ese nivel, las concentraciones de ozono, en nuestro país, lograron registrar un valor inferior a nivel promedio mensual, con una tendencia a registrar concentraciones elevadas en el mes de marzo. Se debe remarcar que, durante el mes de febrero, las temperaturas, observadas en la capa de 100 hPa estuvo por debajo de sus valores climáticos, mientras que en 70 hPa y 50 hPa estuvieron por encima, pero con una tendencia a la baja (debido a flujos de aire provenientes del este). A nivel de estratósfera media y alta las temperaturas estuvieron por debajo, motivando una cierta reducción de las concentraciones de ozono en dichas capas, a pesar de haber registrado un incremento a partir de la segunda quincena del mes, pero aun así por debajo de sus valores climáticos. La tendencia a lo largo del mes siguiente es a incrementarse.

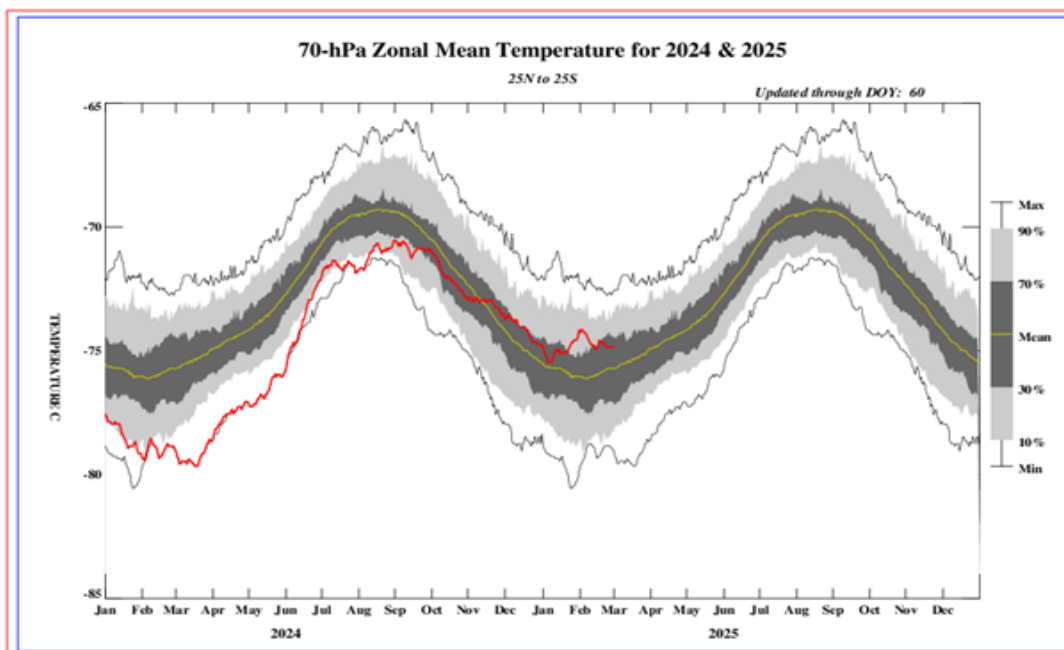
La variabilidad de la concentración de ozono en el nivel de 70 hPa, asociado a los cambios en la temperatura es una consecuencia del movimiento de traslación de la tierra con respecto al sol, así como a procesos de transferencia radiativa y reacciones fotoquímicas. Se suma también, el proceso de la circulación Brewer-Dobson, la Oscilación Quasi Bienal, así como a circulaciones de viento regionales a nivel de alta atmósfera. Se agrega el impacto que tuviera la concentración de vapor de agua debido a la erupción del volcán submarino Hunga Tonga en enero del 2022, ya que permite enfriar la atmósfera en ese nivel afectando las

concentraciones de ozono atmosférico. Por otro lado, hay que destacar el impacto que tiene la emisión de sustancias agotadoras de ozono (elementos sustitutos) hacia la atmósfera por parte del factor antropogénico. Se debe tener presente que, por lo general, un aumento (físico) de la temperatura en la atmósfera alta, está ligada con un aumento de las concentraciones de ozono y viceversa, los cuales tienen causales, valga la redundancia, físicos y químicos. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel y para este mes es de -75.5°C , menor en valor numérico al mes pasado, pero físicamente “más cálido”. La temperatura calculada en este mes, fue de -74.5°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, como ya anteriormente se ha mencionado, el promedio mensual registrado en superficie fue de 242.7 UD, inferior al mes anterior.

FIGURA N°10

Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de febrero 2025
Fuente: National Weather Service, Climate Prediction Center (Web Site)



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

La temperatura a nivel de 100 hPa promedio mensual fue de -79.7°C , mientras que a nivel de 70 hPa fue de -74.6°C , valores relativamente distantes con una diferencia entre ellas, de 5.1°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 región tropical. Ver Figura 11.

A nivel de 50 hPa, la diferencia es más notoria con una temperatura promedio del mes de -66.6°C (ligeramente más fría que el mes anterior).

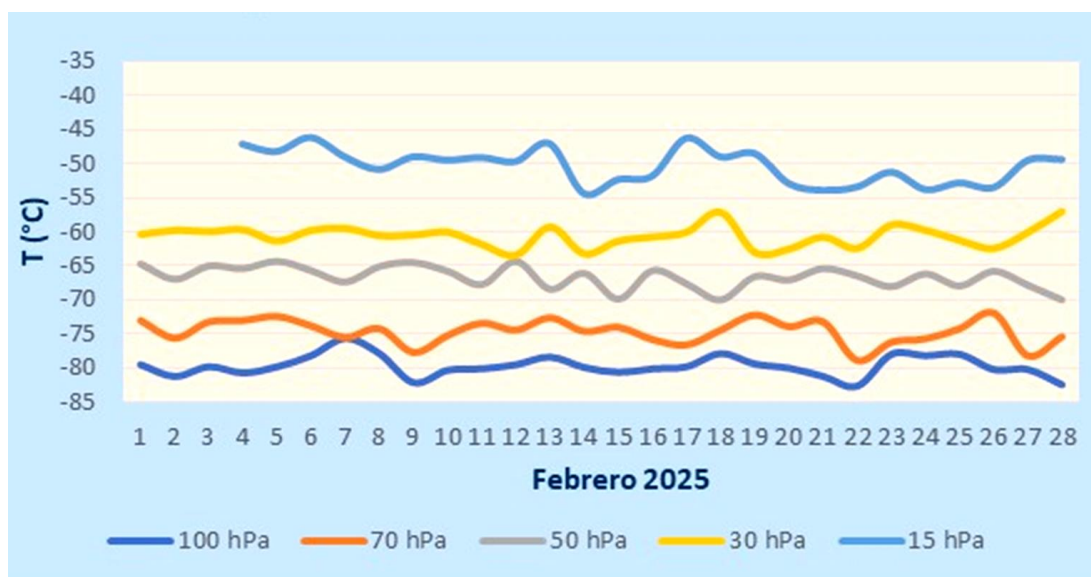
En la media estratósfera, a 30 hPa, la temperatura promedio registrada fue de -60.6°C (valor algo similar al mes pasado) para finalmente, a 15 hPa, la temperatura fuera de -50.4°C (ligero calentamiento comparado al mes anterior). La relación de mezcla de ozono en esta capa ha sido baja.

La temperatura promedio mensual a nivel de 70 hPa obtenida por la NOAA (-74.5°C) y la obtenida por un equipo de altura (-74.6°C), valores prácticamente similares. Hay que tener en cuenta que la información de NOAA es promedio de la faja 25°N y 25°S , mientras que el registrado en la región central del país es puntual.

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

FIGURA N°11

Régimen térmico en la baja y media estratósfera de Junín



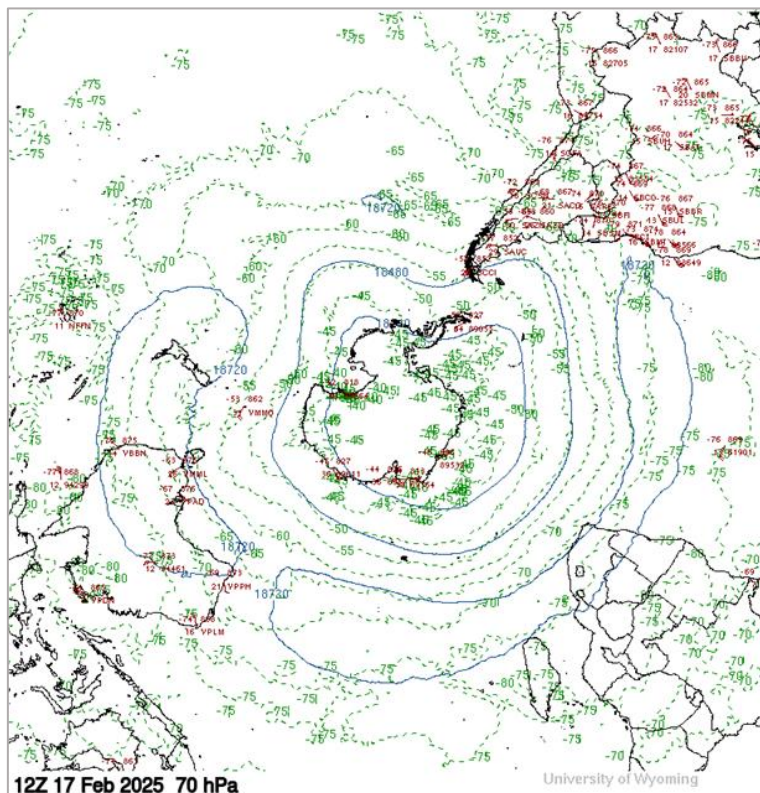
El comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur en un día típico de febrero, es mostrado en la Figura 12 (University of Wyoming) en donde se aprecia que las temperaturas, específicamente, en el continente Antártico han registrado mayormente valores de -41°C , debido a condiciones relativamente “cálidas” dado de que aún nos encontramos en la estación de verano. Las temperaturas en dicho continente paulatinamente registrarán un descenso en el siguiente mes debido a la culminación del verano en el hemisferio austral.

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, una disminución de la temperatura en ese nivel de la estratósfera (70 hPa) de la región tropical, se encuentra relacionada con una disminución en las concentraciones de ozono.

En latitudes bajas (20°N – 20°S), las temperaturas en este mes, en la atmósfera alta (media y alta estratósfera), ha registrado primero un descenso y después un ascenso, pero siempre por debajo de sus normales climáticas. Los procesos de transferencia radiativa se han incrementado en forma paulatina dado la mayor intensidad de 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 -75.5°C, proceso físico ligeramente frío comparado al mes pasado, siendo uno de los factores para que las concentraciones de ozono atmosférico, en esta capa, hayan registrado una tendencia a la disminución aunados a circulaciones de viento provenientes del primer y cuarto cuadrante, aunados a una baja relación de mezcla de ozono atmosférico a nivel de 70 hPa y alta actividad fotoquímica.

FIGURA N°12
Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (17 febrero 2025)



Fuente: Universidad de Wyoming

III. CONCLUSIONES

1. El mes de febrero se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono (columna total de ozono) sobre nuestro país (los medidos en superficie) empiezan a incrementarse. El valor registrado, en este mes, fue de 242.7 UD como valor promedio. Este valor ha sido inferior a lo obtenido el mes pasado y permite concluir que las concentraciones de ozono durante este mes, fueron relativamente bajas debido mayormente a la presencia de los vientos zonales negativos, durante gran parte del mes, con excepción de los niveles de 30 hPa y 15 hPa donde se registraron vientos netamente del este los cuales fueron de moderada a alta intensidad, aunado a un incremento en las concentraciones de vapor de agua, especialmente en la capa de 100 hPa.
2. En cuanto a la variación temporal (promedio diario) de la concentración de ozono durante el mes, medidos con el espectrofotómetro Dobson en el OVA Marcapomacocha, oscilaron entre 239.8 UD a 246.2 UD, límites inferior y superior, ligeramente superior e inferior respectivamente al mes anterior. Este decremento, está ligado al traslado de escasas concentraciones de ozono hacia nuestras latitudes por efecto de los vientos provenientes del este como consecuencia de la formación de núcleos anticiclónicos en el hemisferio sur, los cuales derivaron esas masas de aire hacia otras partes del continente.
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 febrero, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical del hemisferio sur, se registró entre los 65 hPa y los 8 hPa (baja y media estratósfera) con valores que oscilaron entre 13 UD y 25 UD (ligeramente mayor al mes anterior), mientras que en latitudes medias del hemisferio sur, la altura de las máximas concentraciones se dieron entre los 150 hPa y 15 hPa con valores entre 12 UD y 21 UD. La variabilidad en las concentraciones de ozono de este mes con respecto al de enero, ha sido influenciada, en un primer momento, por vientos del este y en un segundo momento por la actividad fotoquímica.
4. El registro de concentraciones de ozono atmosférico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, oscilaron entre 13 UD y 25 UD, entre la baja y media estratósfera 120 hPa y 10 hPa a lo largo de 35°N – 55°N). Durante el mes de febrero se registraron procesos físicos de baja relación de mezcla de ozono de latitudes medias a altas, influenciados aún por el vórtice polar ártico (circulación meridional), el cual permitió mantener concentraciones de ozono atmosférico ligeramente inferiores al mes anterior. 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 una disminución con valores entre 3.73 ppmv y 4.26 ppmv, lo cual demuestra que, a pesar de encontrarnos en el límite superior de la estratósfera baja, se registran concentraciones, aunque muy bajas, de vapor de agua. Cabe resaltar que concentraciones mayores, especialmente en la baja estratósfera, afectan grandemente el comportamiento espacial y temporal del ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, permitiendo una menor concentración, como el registrado en el mes de febrero.
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 una ligera disminución de las concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes, específicamente sobre nuestro país, han sido los vientos mayormente del este durante gran parte del mes, los cuales fueron de intensidad moderada a alta, principalmente en la estratósfera baja (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 central y sur (costa y sierra), con valores que oscilaron entre 225 UD y 250 UD, a partir del 08 de febrero, mientras que durante la primera semana las concentraciones de ozono estuvieron todavía altas.
8. En lo que concierne al comportamiento del régimen térmico en la baja estratósfera (70 hPa) considerando la faja 20°N – 20°S, se puede mencionar que el mes de febrero, se caracterizó por registrar valores menores al mes pasado (pero físicamente “más cálidos”), lo que en cierta manera propició el incremento de las concentraciones de ozono sobre esta capa, mientras que en otras disminuyeron.
9. Debido a que febrero es considerado como un mes donde climáticamente el régimen térmico tiende a incrementarse principalmente en la baja y media estratósfera de la región tropical, esto trae como consecuencia también un incremento de las concentraciones de ozono aunados a otros factores como la circulación de los vientos y la mayor actividad fotoquímica.

10. Debido al comportamiento de la temperatura en las diferentes capas de la estratósfera, realizadas con equipos de altura sobre la sierra central del Perú (departamento de Junín), se concluye que en la estratósfera baja las condiciones térmicas fueron por lo general, ligeramente frías cuando en realidad debieron de haberse incrementado, mientras que en la estratósfera media se registró un ligero calentamiento.
11. Las condiciones térmicas disminuyeron con respecto al mes anterior en la estratósfera baja, puede deberse a la baja relación de mezcla de ozono, así como a una alta actividad fotoquímica.
12. 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/cqZit9WHG7gLktbT6gle/cqZit9WHG7gLktbT6>

Próxima actualización: 15 de abril 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**

