OCTUBRE 2024
Vol.10

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

Senamhi
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

PERÚ Ministerio del Ambiente

Senamhi
SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ

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 gran parte 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.

A causa de los productos generados por los humanos y llamados halocarbonos, la disminución en la concentración de ozono especialmente en la estratósfera baja y parte de la media de la región tropical se ha mantenido, en los últimos 20 años, en comparación a su ritmo natural. Esto provoca cambios en la transferencia radiativa sobre esta región generando algunas modificaciones en los procesos de circulación atmosférica, el cual traería variaciones en los aportes de ozono atmosférico y su incidencia en un posible cambio climático.

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 estacionesa nivel mundial cercanas a la línea ecuatorial y en un medio natural megadiverso. A nivel sudamericano conjuntamente con las estaciones VAG de Natal (Brasil)y Chacaltaya (Bolivia) son las que reportan información continua de las propiedades físicas y químicas de la atmósfera en esta parte del continente. Las actividades del OVA Marcapomacocha se enmarcan en las mediciones de la concentración de ozono total atmosférico en forma diaria realizadas con el Espectrofotómetro Dobson el cual contribuye con el Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global – VAG de la Organización Meteorológica Mundial – OMM. Otras variables como la radiación ultravioleta, radiación solar global y parámetros meteorológicos también se vienen midiendo en dicho observatorio.

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

En el futuro el OVA Marcapomacocha también podrá realizar mediciones de dióxido de carbono (CO_2) (gas de efecto invernadero) y carbono negro (hollín).

I. CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

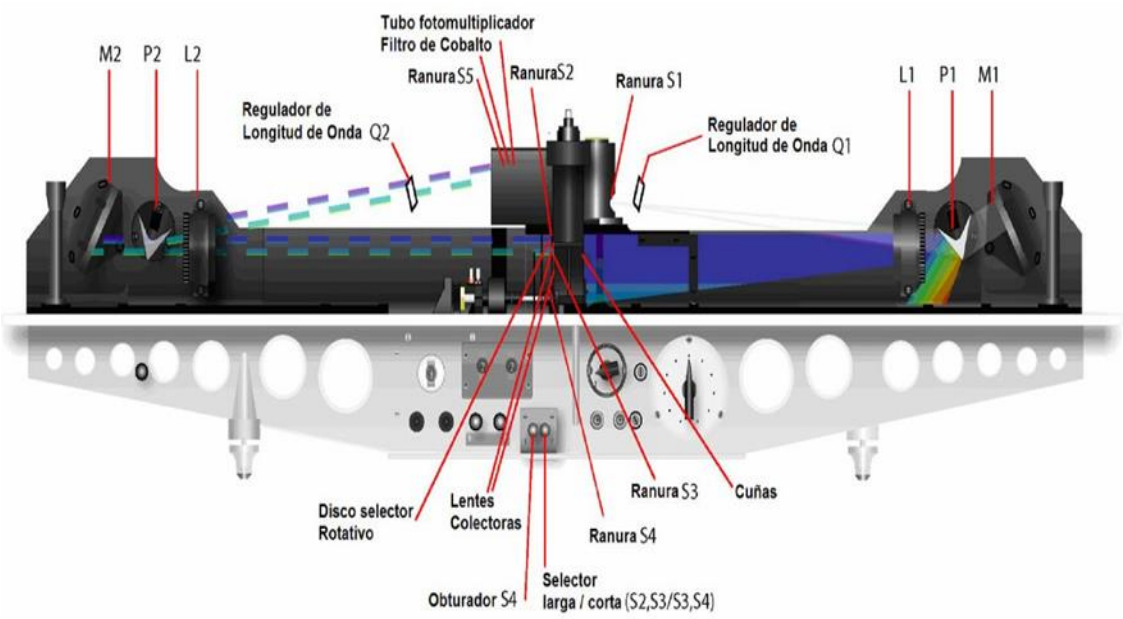
1. MEDICIÓN EN SUPERFICIE

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 octubre la estratósfera baja y media de la región tropical ha continuado registrando características térmicas a un ligero incremento, especialmente en la mitad de la estratósfera media, así como en toda la estratósfera alta pero siempre por debajo de sus valores normales, pero cada vez acercándose más, lo cual ha permitido, que las concentraciones de ozono hayan registrado una tendencia al aumento con respecto al mes de setiembre. En cambio, en la estratósfera baja más bien, las temperaturas disminuyeron, pero se acercaron, al igual que el caso anterior, a sus valores normales. La relación de mezcla de ozono, ha sido deficiente en la estratósfera baja lo cual se tradujo en una disminución de ozono atmosférico (mayor enfriamiento) sobre nuestras latitudes durante ese periodo, mientras que, en la estratósfera alta, fue mayor, permitiendo ciertos incrementos (mayor calentamiento), aunados a una escasa humedad atmosférica.

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

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

circulación inducidos por la QBO (mezcla de ozono estratosférico por la circulación secundaria).

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, es importante tener en cuenta que esos regímenes de circulación, así como los procesos que involucran el establecimiento de la estación de la primavera austral, interactúan entre sí en las diferentes capas de la atmósfera, permitiendo el trasporte de calor o energía. En ese sentido, se analiza la capa de 70 hPa (día 14 de octubre) dado de que es representativa de la baja estratósfera. A lo largo del mes, climáticamente sobre nuestras latitudes, las concentraciones de ozono empiezan a registrar un comportamiento al descenso debido a la aparición paulatina de vientos zonales negativos, los cuales aportan pocas concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes. Durante los primeros doce días del mes, los vientos fueron variables para luego a partir de la tercera semana ser relativamente frecuentes los vientos del este. Cabe mencionar que también se registraron vientos del oeste los cuales aportaron cierta cantidad de ozono atmosférico, pero mucho menos que el mes anterior. Los flujos de viento que dan pie a la formación de núcleos anticiclónicos, en esta parte del hemisferio sur, prácticamente desaparecieron debido a la aparición de los flujos del este.

En latitudes medias, del hemisferio sur, la circulación de vientos ha continuado siendo zonal positivo aportando concentraciones altas de ozono atmosférico sobre estas regiones debido a la intensificación de flujos de viento de latitudes altas (influencia 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 y media, se ha observado comportamientos al descenso (100 hPa y 70 hPa) y al ascenso (50 hPa, 30 hPa, 15 hPa) respectivamente. A nivel de alta estratósfera (5 hPa, 2 hPa y 1 hPa), el comportamiento también fue al ascenso. A pesar de este comportamiento de la temperatura en todos estos niveles, las concentraciones de ozono lograron disminuir en la región tropical. El comportamiento térmico en la baja estratósfera estaría relacionado por la paulatina presencia de vientos del este con baja relación de mezcla de ozono, así como a una moderada concentración de humedad atmosférica. 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 continuar con ese proceso. Cabe enfatizar que tanto los valores mínimos como máximos de ozono sobre nuestro país, en este mes, fueron inferiores a los valores registrados en el mes pasado. La amplitud entre dichos valores en el mes de octubre ha continuado disminuyendo, pero manteniendo siempre un descenso. 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 octubre a nivel de superficie, en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica (OVA) de Marcapomacocha se observó que

el comportamiento horario de la concentración de ozono atmosférico en general, estuvo oscilando entre 238.1 UD y 253.7 UD (UD = Unidades Dobson). A nivel promedio mensual fueron inferiores.

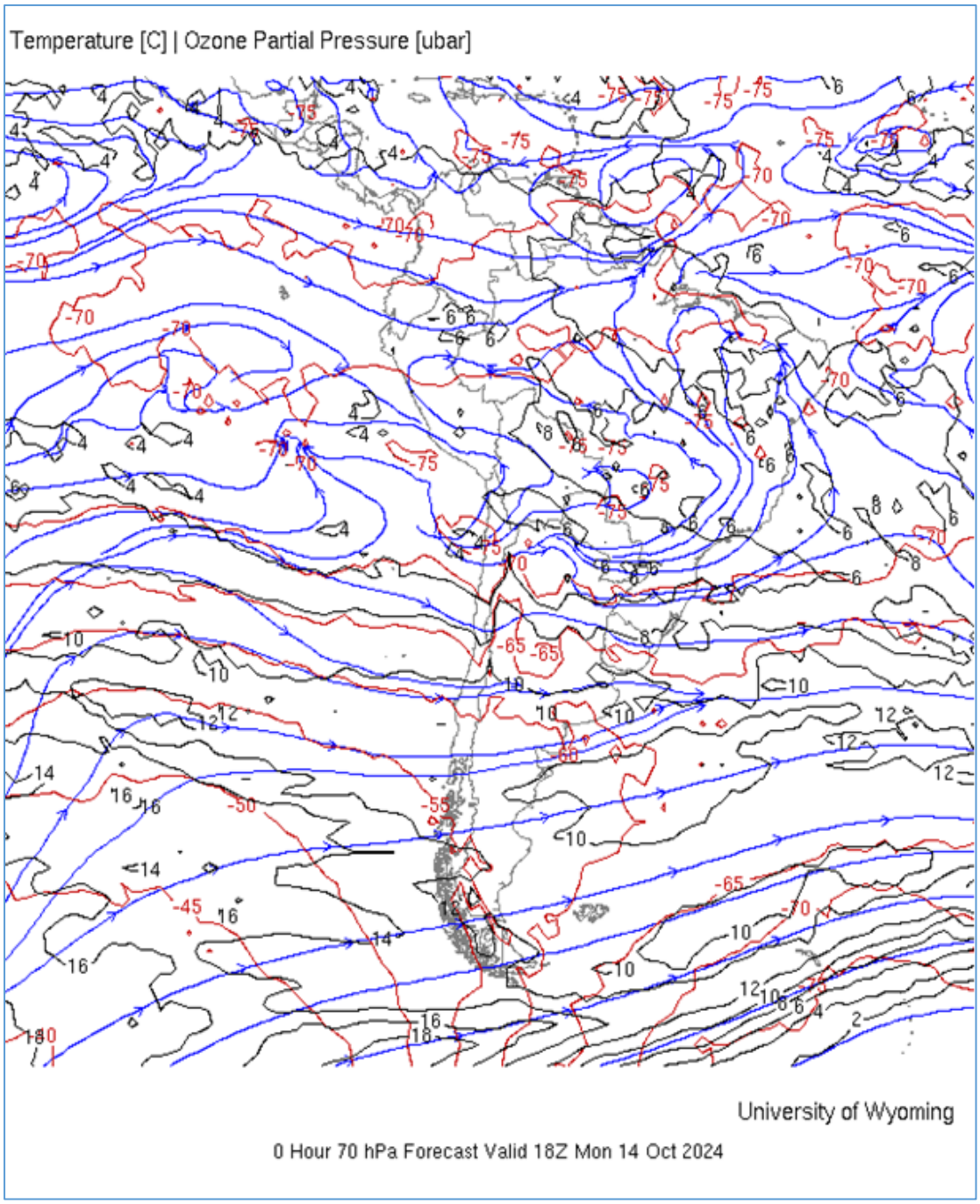
Se debe mencionar que en las primeras horas del día las concentraciones de ozono son relativamente altas debido al ozono acumulado en horas de la noche (en octubre, climáticamente, se forma menos ozono) y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía los valores empiezan a disminuir para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

Este proceso físico, se enmarca en que durante las primeras horas de la mañana la incidencia de la radiación ultravioleta, en esta temporada, se incrementa, por ende las concentraciones de ozono son relativamente altas (debido al ozono residual), a medida que la intensidad de la radiación ultravioleta se incrementa en forma paulatina hacia el mediodía, donde los valores son entre altos a extremadamente altos (en los meses de primavera y verano son mayores), permite una reducción del ozono (mayor actividad fotoquímica) y en horas de la tarde a medida que el sol va llegando al ocaso (disminución de la intensidad de la radiación solar) las concentraciones de ozono vuelven a incrementarse. Este comportamiento horario también va a depender de otros factores como los ambientales (reacciones químicas durante el día, de compuestos o gases generadores de ozono troposférico) y meteorológicos (transporte de ozono de y hacia otras latitudes). Un punto importante es el proceso de formación y destrucción del ozono por efectos fotoquímicos, mientras que la intensidad de la radiación solar se incrementa, dicha actividad será mayor y viceversa. En el periodo analizado, la intensidad de la radiación ultravioleta ha mostrado un incremento debido al establecimiento de la estación de primavera. En algunas regiones, especialmente en el norte han sido mayores al mes pasado, mientras que en la región central y sur los niveles fueron muy superiores. La cantidad de aerosoles tiende a incrementarse (más en la sierra y selva) debido al inicio de la temporada de lluvias lo cual permite registrar mayor humedad sobre nuestras regiones permitiendo una menor transparencia atmosférica, principalmente en la región andina norte y central. Se espera que en el mes siguiente dichos valores de radiación, continúen incrementándose debido al mayor establecimiento de la primavera.

FIGURA N°2

Flujos de masas de aire variables conjuntamente con flujos zonales

Fuente: Weather Service de la University of Wyoming



El comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2023) del mes de octubre oscila entre 245.7 UD y 251.3 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de octubre del presente año, oscilaron entre 239.2 UD y 250.1 UD.

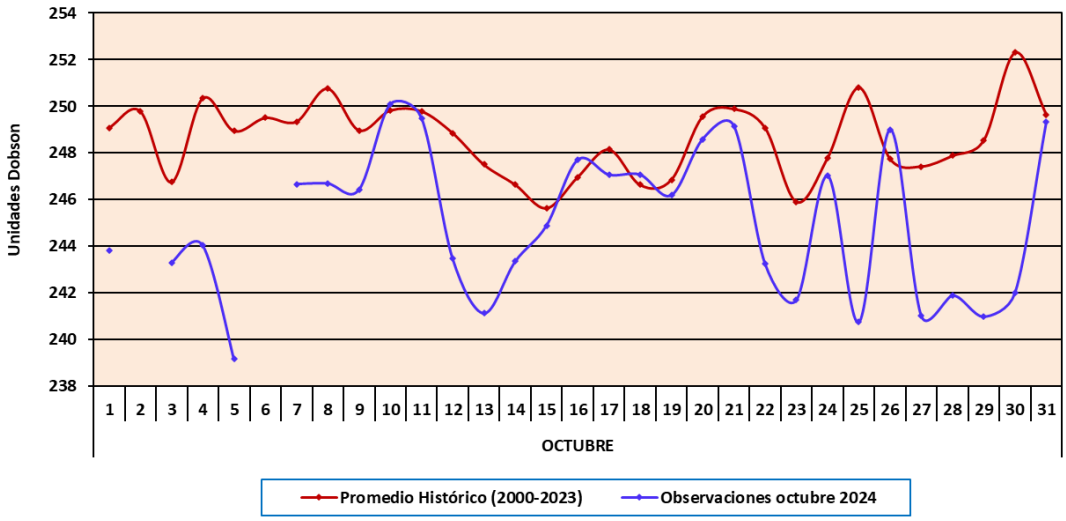
En la figura se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 86% por debajo de sus valores climáticos, mientras que un 14% por encima (cabe mencionar que hubo un desfase de hasta 10 UD entre el valor histórico y el registrado durante el mes de octubre del presente año).

Cuando se comparan ambas series se ha venido observando un comportamiento variable, con valores que en algunos momentos se acercan a sus normales (por ejemplo durante los días 10, 11, 15, 16, 18, 19, 21 y 31) y en otros más bien alejándose (en el resto de días no mencionados, principalmente entre 25 y 30 de octubre), lo cual se atribuye a los cambios en la circulación atmosférica (vientos del este y en otros momentos del oeste), así como también por la cantidad de vapor de agua emitida a la atmósfera por el volcán Hunga Tonga en el Pacífico Sur, en enero de 2022, el cual se piensa, va originando también efecto en latitudes bajas muy aparte de las medias y altas del hemisferio sur. La tendencia de las concentraciones de ozono sobre nuestro país, con respecto al mes de setiembre ha registrado valores inferiores (pero con una tendencia a la disminución, especialmente los valores tanto mínimos como máximos).

En la estratósfera, la temperatura y las concentraciones de ozono generalmente van de la mano, de acuerdo a ello, se puede mencionar que, en el mes de octubre, en todas las capas de la estratósfera, las temperaturas continúan por debajo de sus valores normales, aunque se debe remarcar que en la parte alta de la estratósfera baja y parte baja de la media, las diferencias en este mes se han acortado, probablemente debido a los flujos de circulación atmosférica entre las capas de 50 hPa y 30 hPa, provenientes mayormente del oeste.

FIGURA °3

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



Es importante conocer también la variación temporal multianual de la concentración de ozono (climático) y poder relacionarlos con los procesos que generan los diferentes sistemas atmosféricos que gobiernan sobre nuestro país. En el OVA de Marcapomacocha se presentan dos picos, uno en el mes de marzo con un valor de 244.5 UD y el otro, mucho mayor, en el mes de setiembre con un valor de 251.3 UD. Por otro lado, los valores bajos de ozono se registran climáticamente en los meses de enero con valores de 242.2 UD y otro entre los meses de mayo y junio con valores de 240.9 UD y 240.8 UD respectivamente. El promedio mensual de ozono en el presente mes fue de 245.0 UD inferior en 4.3 UD al promedio mensual multianual (249.3 UD).

Se debe tener presente que, en la región tropical durante los meses de la primavera austral, vale decir desde el 21 de setiembre hasta el 21 de diciembre, las concentraciones de ozono tienden al descenso (climático), en un primer momento, debido a factores astronómicos, así como a procesos de la circulación a nivel de estratósfera (vientos del este, así como una menor relación de mezcla). La circulación de los vientos, a nivel vertical, desde la tropósfera hacia la estratósfera permite el traslado de cantidades de ozono los cuales a lo largo de los meses lo van redistribuyendo hacia latitudes mayores (Circulación Brewer-Dobson), lo cual genera el déficit de ozono atmosférico en latitudes bajas (mucho más en los meses de mayo-junio). Esta circulación está conducida por ondas atmosféricas lo cual puede ser acelerada por el cambio climático repercutiendo en la distribución global de las concentraciones de ozono. En el mes de octubre, se ha empezado a registrar masas de aire provenientes del este desde la tercera semana, mientras que, durante las dos primeras, los flujos de viento fueron muy variables, permitiendo un descenso en las concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes.

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

Al igual que la información de superficie, lo que proviene de los satélites es muy importante ante la falta de cobertura por parte de los primeros. En ese sentido, al realizar la comparación de los datos de ozono atmosférico provenientes de los satélites AURA (Plataforma OMI) y SUOMI (Plataforma OMPS) con lo registrado en

superficie, continúa observándose un desfase entre ellos. Con respecto a la información proveniente del AURA/OMI, durante el 91% de días del mes de octubre, 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 79% de días del mes estuvieron por encima de lo registrado en superficie. Figura 4.

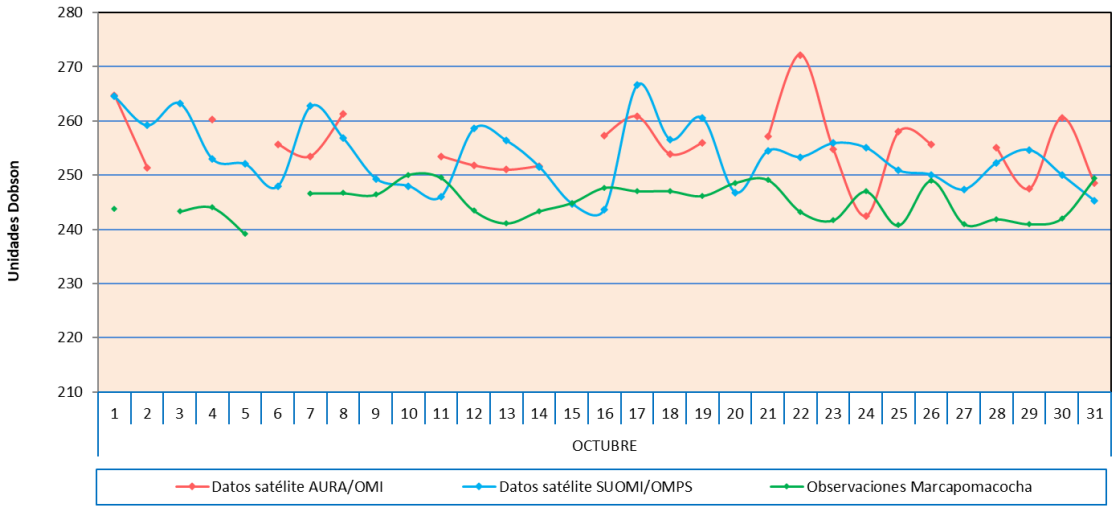
De este análisis podemos decir que la información proveniente de estos dos satélites es bastante mayor a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson, cuando anteriormente eran inferiores, Existen días donde las diferencias entre los valores registrados por el satélite y el medido en superficie, son bastante altas en el orden de 1 a 29 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 una disminución durante el mes, debido a la circulación de los vientos en la atmósfera, mientras que los medidos con los satélites, también mostraron ese comportamiento.

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

FIGURA N°4

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



Perfil Vertical de Ozono Atmosférico

Por lo general, el 10% de la concentración de ozono se encuentra en la tropósfera y el otro 90% en la estratósfera. En ese sentido, cobra vital importancia monitorear el comportamiento vertical de este gas en diferentes niveles de la atmósfera para conocer su variabilidad en el tiempo y poder relacionarlos con posibles cambios en los sistemas atmosféricos característicos de la región (cambios en la transferencia radiativa o circulación de los vientos). 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.

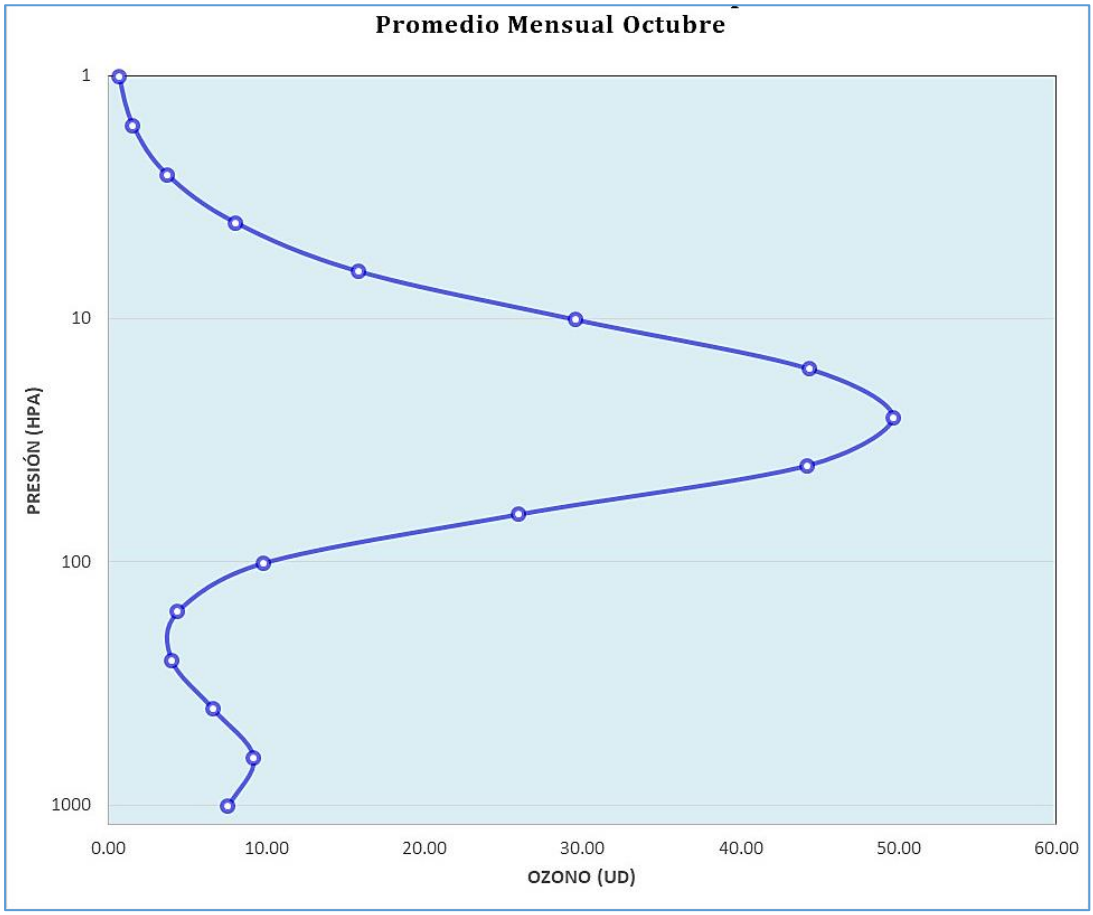
Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial), desde el año 2000 hasta el 2020 se han observado por medio de mediciones del perfil vertical de la atmósfera y el desarrollo de modelos numéricos, una disminución en las concentraciones de ozono (~2% por década) en la estratósfera baja de la región tropical (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 octubre 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 28 UD a 50 UD.

FIGURA N°5

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



Según información de perfil vertical de ozono atmosférico para un día típico del mes de octubre (día 15) 2023 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones parecidas comparadas al mes pasado (debidas al cambio de estación astronómica), cuyos valores han oscilado entre 13 UD y 23 UD, entre la baja y media estratósfera (el área de cobertura latitudinal de estas concentraciones bajas se dio entre 30N°-75°N). A partir del 21 de setiembre, dicho hemisferio, se encuentra en la estación de otoño, registrándose aún concentraciones moderadas de ozono en latitudes bajas y altas con tendencia a continuar disminuyendo, debido al incremento de humedad atmosférica, así como a la influencia de los vientos cuasi zonales sobre dichas latitudes. El régimen de temperatura en la estratósfera baja empieza a disminuir, pero muy ligeramente, mientras que en la media y alta se mantienen con una ligera tendencia a incrementarse.

Hay que tener presente que, en la región tropical, se forma la mayor cantidad de ozono siendo incluso mayores a los formados en latitudes medias y altas de ambos hemisferios, pero debido a factores de circulación regional como el de Brewer-Dobson, la Oscilación Quasi Bienal, así como de procesos de reacciones fotoquímicas y térmicas, en la estratósfera media son redistribuidas hacia latitudes medias y altas de ambos hemisferios, permitiendo una disminución de la misma. El problema se ahonda cuando se registra mayor contenido de humedad.

Se debe mencionar que la altura de las concentraciones de ozono (13 UD a 25 UD) en latitudes bajas del hemisferio norte fue de 70 hPa y 10 hPa, mientras que en latitudes bajas del hemisferio sur (23 UD a 15 UD) la altura fue de 100 hPa y 10 hPa. En latitudes medias del hemisferio sur más bien se registraron concentraciones altas con valores entre 20 UD y 40 UD, pero a una altura entre 200 hPa y 10 hPa. La altura tanto en latitudes bajas y medias del hemisferio sur han sido similares 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 (zonales negativos), así como por efecto de moderadas concentraciones de vapor de agua que fueron emitidas por el volcán submarino Hunga Tonga en enero de 2022 así como la adición de humedad por efecto del inicio del periodo lluvioso en el hemisferio austral.

Para el caso de nuestro país, concentraciones de ozono relativamente bajas se han registrado entre los 60 hPa y 10 hPa con valores entre 15 UD y 22 UD, especialmente en la región central y sur del país, mientras que, en la sierra norte, las concentraciones oscilaron entre 15 UD y 23 UD a una altura de 50 hPa y 10 hPa.

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

Debe considerarse que la forma que adquiere la distribución vertical es típica en la atmósfera, sabiendo que las concentraciones pueden variar de acuerdo a la latitud, estación astronómica, condiciones meteorológicas, así como al efecto que tienen los gases de efecto invernadero, especialmente en la estratósfera baja aunados últimamente con el incremento del vapor de agua, debido a la consideración descrita en párrafos anteriores. Figura 6.

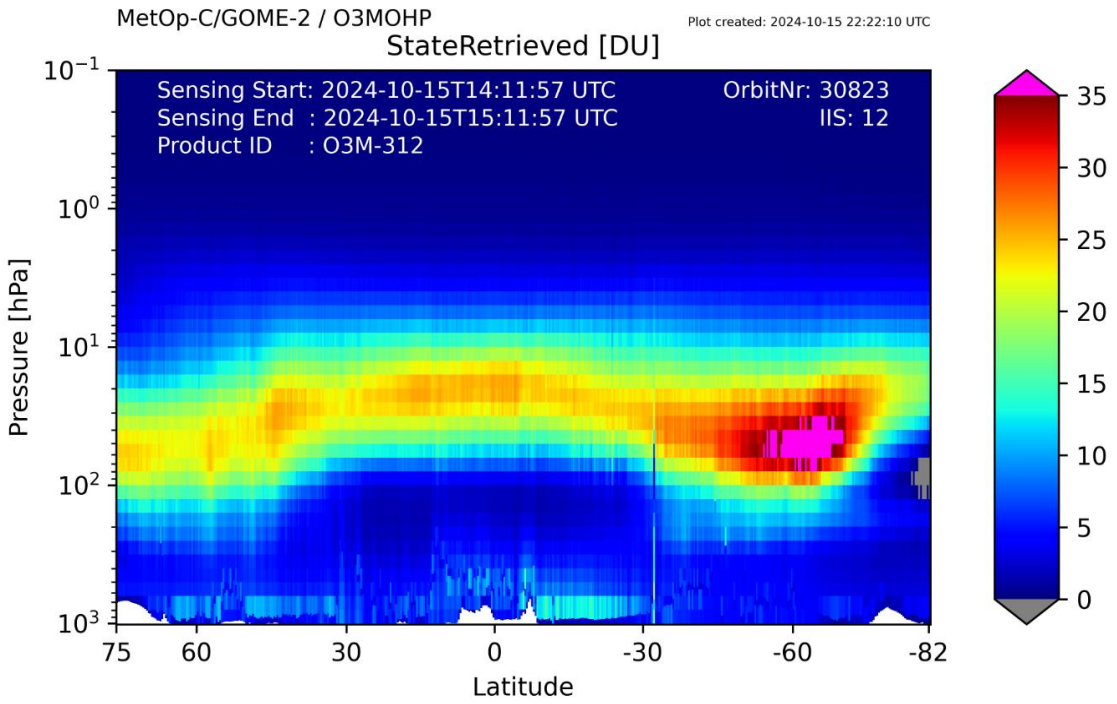
A la fecha se mantiene la ocurrencia de una circulación de este a oeste, en el hemisferio norte (10 hPa) por lo que las concentraciones de ozono han disminuido, pero muy ligeramente. Asimismo, se ha seguido observando una circulación que

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

FIGURA N°6

Perfil Vertical de Ozono según GOME-2

Fuente: Metop-C/GOME-2



VAPOR DE AGUA A 46 hPa

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

En función a lo mencionado, se debe tener conocimiento, que durante los días 13 y 15 de enero de 2022, se registró una erupción volcánica en el mar del Pacífico Sur, emitiendo grandes cantidades de aerosoles a la atmósfera. Tanta fue la potencia de la erupción que llegó hasta alturas que sobrepasaron la estratopausa, inyectando partículas y gases como el SO_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.

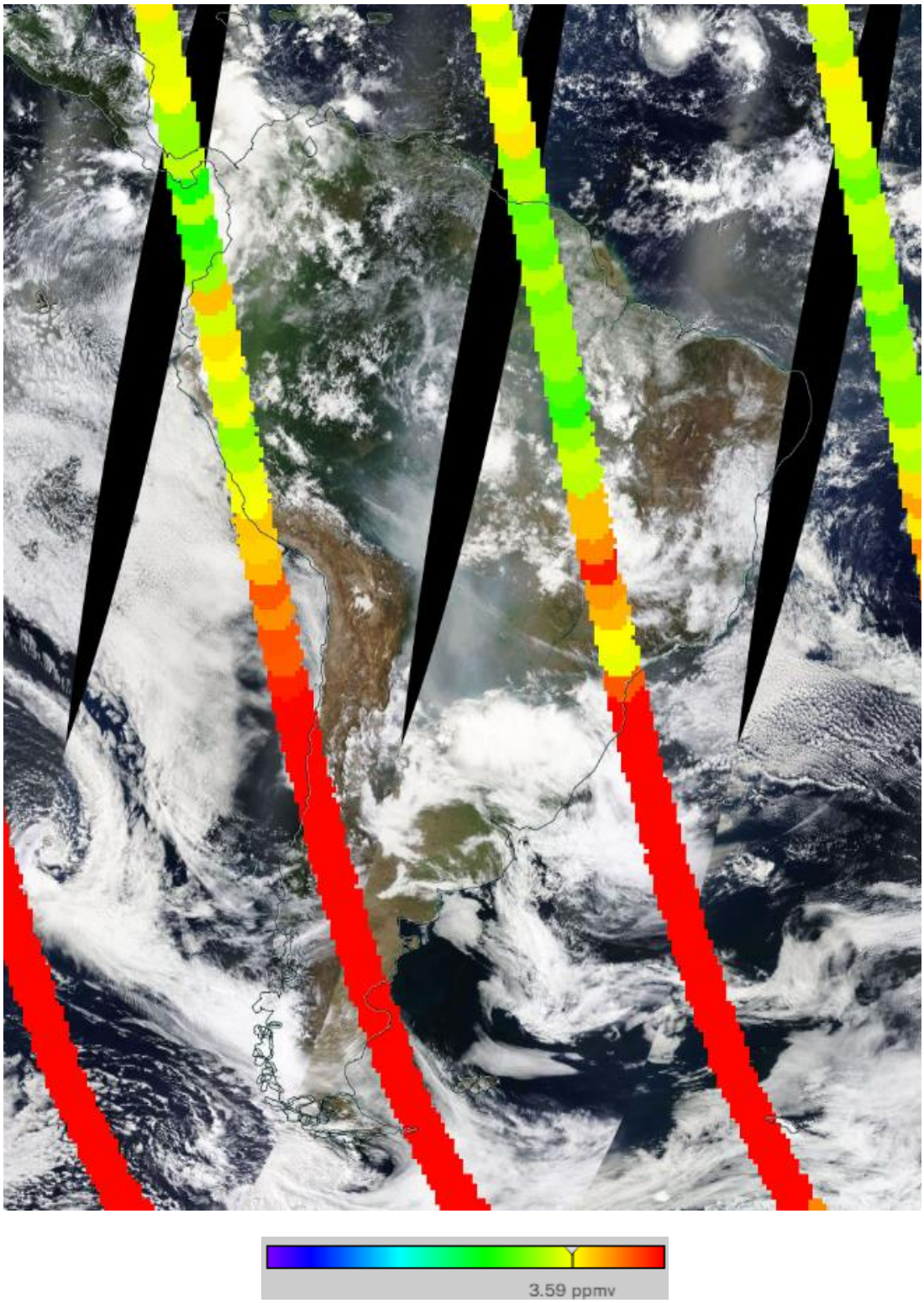
Hay que recalcar que a nivel global continua la disipación del periodo cálido (aunque todavía quedan remanentes) vivido desde el año 2023 hasta la fecha los cuales permiten tener almacenado calor en la atmósfera y por ende concentraciones moderadas de humedad relativa, los cuales tienen repercusión en las concentraciones de ozono. Para el caso de nuestro país las condiciones atmosféricas van ingresando a una etapa más cálida debido a factores meteorológicos (influencia del Anticiclón del Pacífico Sur y desaparición de las advecciones frías) como oceanográficos (temperatura de agua de mar).

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 (15 octubre 2024), obtenida de la Earth Data de la National Aeronautics Space Administration - NASA. En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua relativamente bajas (algo parecidas al mes anterior con una tendencia al incremento). Por ejemplo, en la región norte del país las concentraciones oscilaron entre 3.42 ppmv a 3.71 ppmv, mientras que en la región central valores entre 3.25 ppmv y 3.61 ppmv. En el lado de la región sur del país, concentraciones entre 3.81 ppmv y 4.19 ppmv. Tal como se observa, la concentración de humedad se ha incrementado ligeramente permitiendo en cierta manera la disminución de las concentraciones de ozono atmosférico.

FIGURA N°7

Vapor de Agua a 46 hPa

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



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

Utilizando información propia de altura, se puede mencionar que la humedad relativa al nivel de 100 hPa en la región central del Perú (departamento de Junín), en el mes de octubre fue de 32%, mientras que a nivel de 70 hPa fue de 9%, a 50 hPa fue de 2%. Finalmente, en la parte media de la estratósfera, vale decir, 30 hPa, la humedad relativa fue de 1% y a nivel de 15 hPa también de 1%. El contenido de humedad en la atmósfera tuvo un ligero incremento con respecto al mes pasado, debido al cambio de estación astronómica generando el inicio de la temporada de lluvias en el hemisferio sur, lo cual tiene injerencia con las concentraciones de ozono que se registran en esta parte del país especialmente en la estratósfera baja.

COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO SOBRE EL PERÚ

En cuanto al análisis de los mapas en forma diaria, del mes de octubre, provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration – NASA (Figura 8), podemos mencionar que, para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico, que muestra el mapa, fueron menores a lo registrado en el mes de setiembre, debido a la ocurrencia de vientos provenientes del este a partir de la segunda quincena del mes. Tal como se explicó en párrafos anteriores, se registró un incremento en la concentración de humedad en la baja estratósfera como producto del establecimiento del periodo de lluvias sobre nuestro país. Por el lado del Pacífico también se registraron concentraciones de ozono moderados.

En casi todo el mes, sobre gran parte de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico disminuyeron, debido a una menor relación de mezcla de ozono. Las concentraciones de ozono en la región norte oscilaron entre 250 UD y 275 UD.

Cabe remarcar que durante los días 01, 02, 03, 04, 13, 14, 23 y 24 de octubre se registraron concentraciones bajas de ozono (225 UD y 250 UD) que abarcaron una pequeña parte de la región sur del país. En gran parte del mes el área de cobertura de concentraciones altas de ozono disminuyó debido a los flujos de aire provenientes del este. Asimismo, en la región norte del país, a pesar de que las concentraciones de ozono disminuyeron, siguieron siendo mayores a los del sur con valores entre 250 UD y 275 UD. La disminución de ozono en la región sur, muy aparte de algunos procesos físicos y químicos que lo permiten, también es atribuido a que dicha región tiene una menor masa atmosférica. El mismo comportamiento se registra en las partes altas de Bolivia (altiplano peruano-boliviano). La circulación de los vientos en la baja y media estratósfera registraron

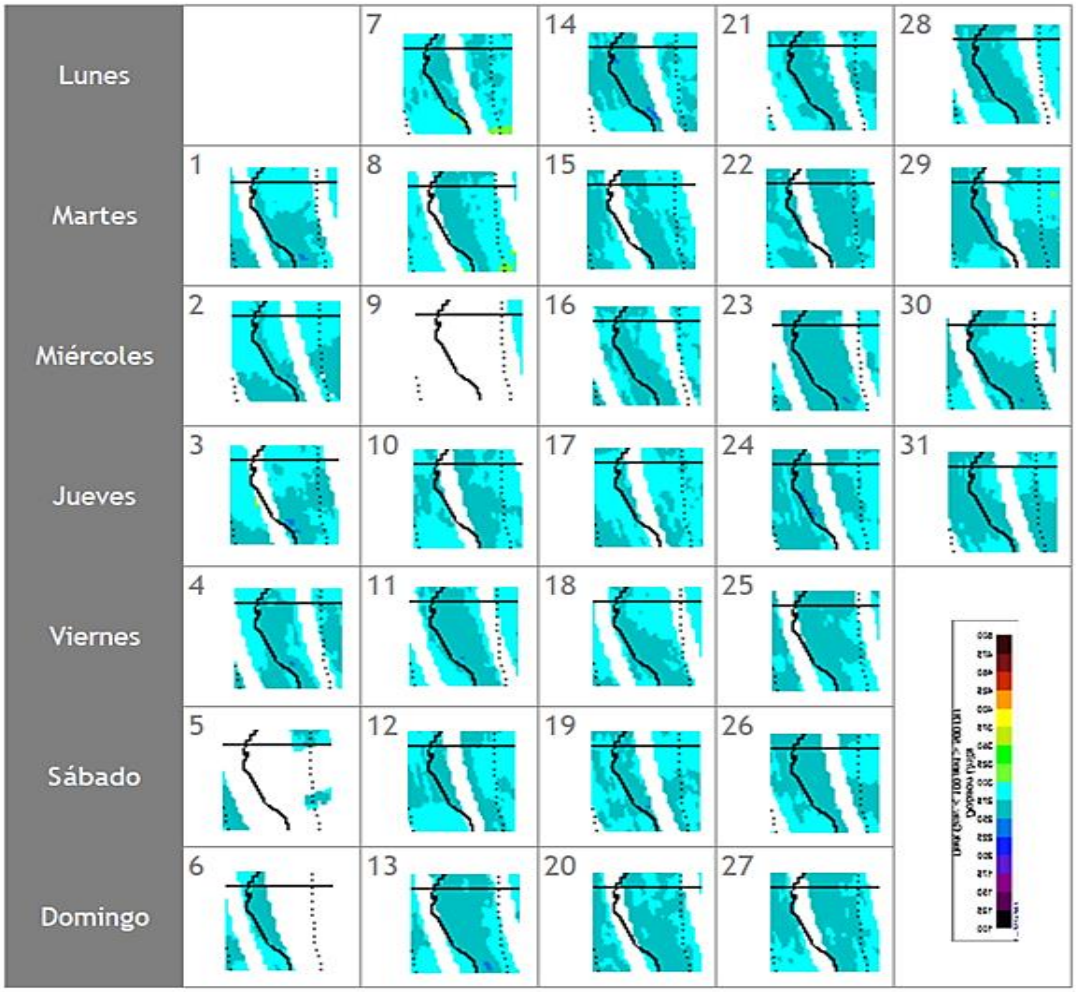
ciertos cambios en cuanto a dirección (vientos del este) permitiendo una disminución de este gas.

En este mes, se registraron ingresos, no muy continuos y de moderada intensidad, de masas de aire del este, los cuales permitieron una ligera disminución de las concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, especialmente en las regiones del centro y sur. Octubre es el mes donde climatológicamente se empieza a registrar una baja en las concentraciones de ozono sobre nuestro país, los cuales se traducen en incrementos de los niveles de radiación ultravioleta, aunados estos a otros factores como los meteorológicos y ambientales.

FIGURA N°8

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

Fuente: Satélite AURA



FLUJO DE VIENTOS EN LA BAJA Y MEDIA ESTRATÓSFERA

Una de las herramientas que ayuda a entender la mayor o menor concentración de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, específicamente sobre Perú es la información de viento en altura, especialmente el de la baja y media estratósfera. A la fecha se cuenta con información de viento para el mes de octubre 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 octubre al nivel de 100 hPa fue mayormente del este, sureste y noreste, los cuales vienen siendo influenciados aún por los flujos de 200 hPa y 150 hPa, con intensidades que oscilaron entre 5 m/s y 13 m/s con una persistencia de 44%. Asimismo, se registraron vientos del noroeste y suroeste con una persistencia de 29% y con una velocidad entre 2 m/s y 10 m/s. En otras direcciones la persistencia fue de 27%. Cabe recalcar que climáticamente los flujos de viento en este nivel son mayormente del este, noreste y sureste.

A nivel de 70 hPa los flujos de viento fueron mayormente del sureste y noreste con velocidades que oscilaron entre 2.0 m/s y 11 m/s con una persistencia de 51%. En otras direcciones la persistencia fue de 49% con velocidades entre 2 m/s y 8 m/s.

En el nivel de 50 hPa los flujos de viento fueron en su mayoría del noroeste, oeste, suroeste y sur, con una persistencia del 69% con velocidades entre 2 m/s y 12 m/s.

MEDIA ESTRATÓSFERA

En el nivel de 30 hPa los flujos predominantes de viento fueron del oeste, noroeste y suroeste con una persistencia de 56%. Cabe mencionar que las velocidades de viento oscilaron entre 2 m/s y 11 m/s. Por otro lado, en otras direcciones la persistencia fue de 44 % con velocidades de viento entre 2 m/s y 8 m/s.

Finalmente, en el nivel de 15 hPa los flujos fueron mayormente del oeste, suroeste, noroeste y sur, con velocidades que oscilaron entre 2 m/s y 13 m/s con una persistencia de 61%, mientras que en otras direcciones la persistencia fue de 39% con vientos que superaron los 2.0 m/s hasta los 8.0 m/s.

Realizando una síntesis de este análisis, se podrá observar que los vientos provenientes del primer y cuarto cuadrante son los más frecuentes en la baja estratósfera (100 hPa), mientras que en la media (30 hPa y 15 hPa), los vientos

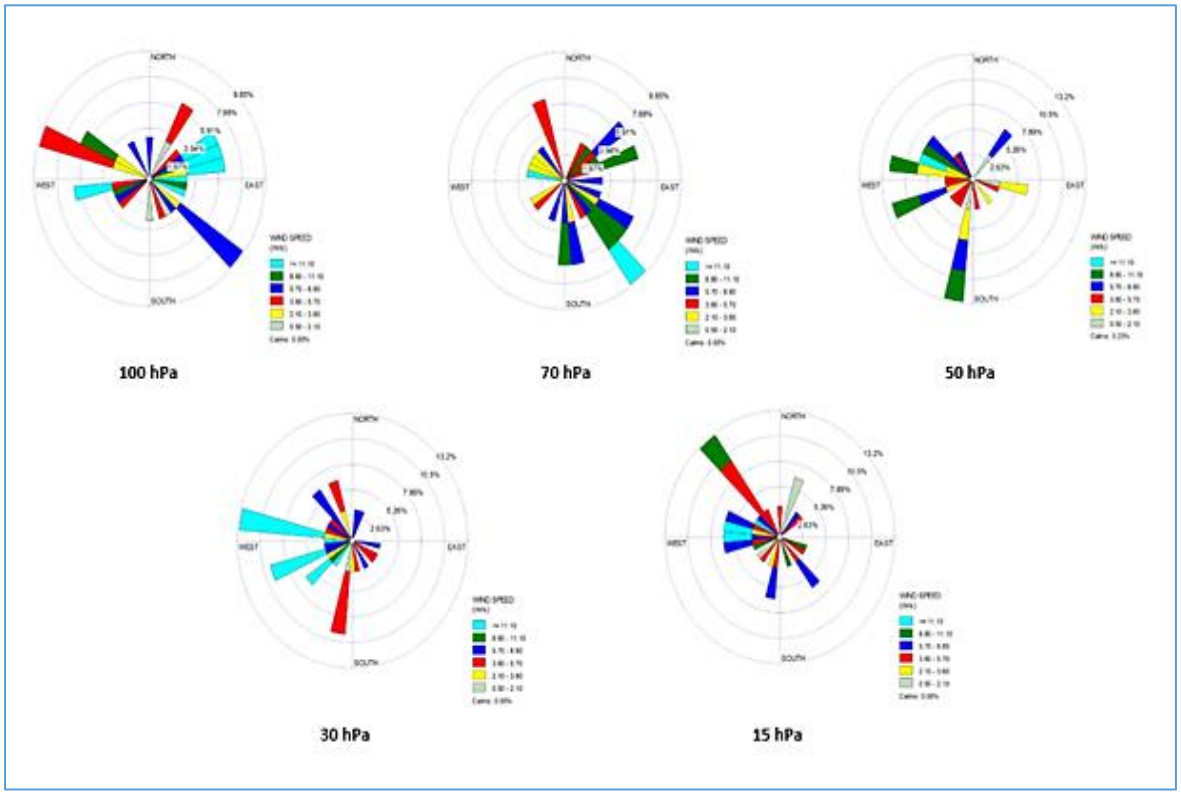
persistentes son del segundo y tercer cuadrante. Esta variabilidad en la dirección de los vientos, así como sus intensidades, especialmente en las capas de la baja y media estratósferas, ha permitido registrar una baja relación de mezcla de ozono por lo que las concentraciones disminuyeron en el mes de octubre coincidiendo con la tendencia climática. Hay que remarcar que el flujo de vientos (intensidad y dirección) es muy importante en el traslado de altas o bajas concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes.

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

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

FIGURA N°9

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



TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATÓSFERA Y MEDIA ESTRATÓSFERA

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

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

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

Durante los días de registro, la temperatura en ese nivel (línea de color rojo), ha registrado una tendencia a la disminución (enfriamiento), pero acercándose cada vez a sus valores climáticos, tal como muestra la figura, pero aun así continua por debajo de sus valores normales (línea de color amarillo), permitiendo una cierta reducción en las concentraciones de ozono atmosférico en dicha franja tropical (cabe mencionar que dicho decremento ha sido moderado). Debido al comportamiento térmico del aire en ese nivel, las concentraciones de ozono, en nuestro país, lograron registrar valores inferiores a nivel diario (especialmente los valores extremos), con una tendencia a continuar registrando concentraciones cada vez menores hasta el mes de enero del siguiente año. Durante el mes de octubre, las temperaturas, observadas en las capas bajas de la estratósfera continúan por debajo de sus valores normales y la tendencia a lo largo de los meses venideros es a seguir disminuyendo, mientras que, en la estratósfera alta, el régimen térmico tuvo un comportamiento al ascenso permitiendo la formación de ozono, pero en cantidades menores.

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

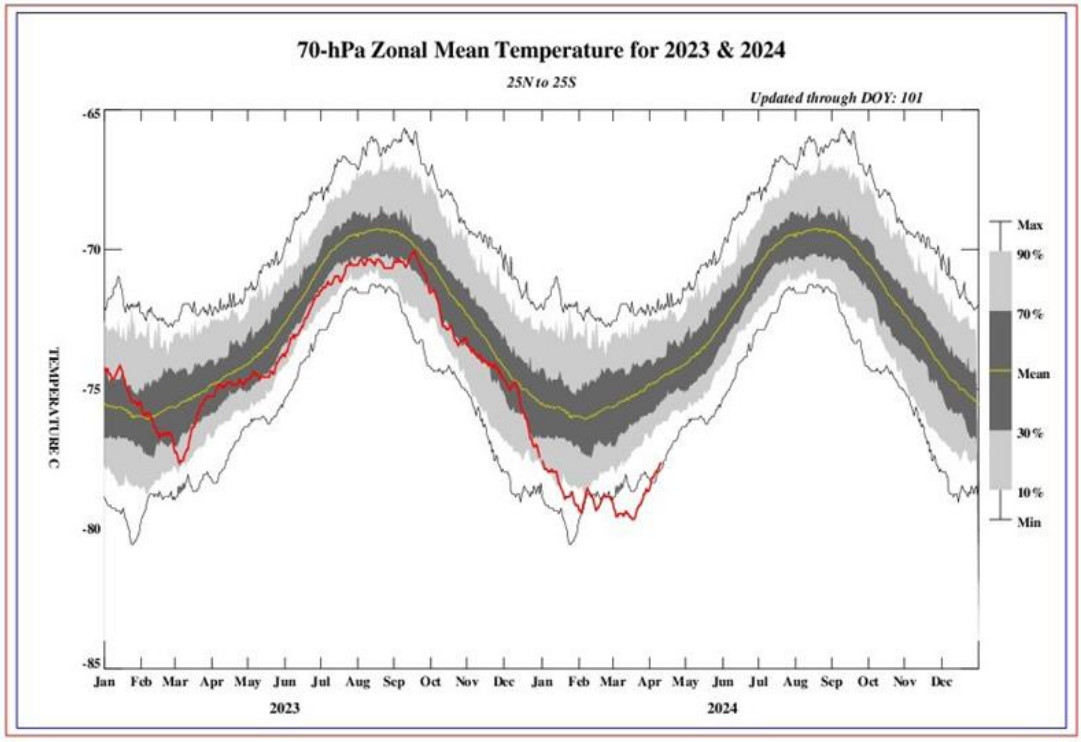
hacia la atmósfera por parte del factor antropogénico. Se debe tener presente que, por lo general, un aumento (físico) de la temperatura en la atmósfera alta, está ligada con un aumento de las concentraciones de ozono y viceversa, los cuales tienen causales, valga la redundancia, físicos y químicos. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel y para este mes es de -71.5°C, mayor en valor numérico al mes pasado, pero físicamente "menos cálido". La temperatura calculada en este mes, fue de -72.0°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, como ya anteriormente se ha mencionado, el promedio mensual registrado en superficie fue de 245.0 UD, menor al mes anterior.

FIGURA N°10

Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de octubre 2024

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



Considerando la información de temperatura de la baja y media estratósfera, proveniente de la estación de altura de Junín, podemos decir lo siguiente:
La temperatura a nivel de 100 hPa promedio mensual fue de -78.8°C, mientras que a nivel de 70 hPa fue de -73.4°C, valores relativamente distantes con una diferencia entre ellas, de 5.4°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 -63.9°C (prácticamente similar al mes anterior).

En la media estratósfera, a 30 hPa, la temperatura promedio registrada fue de -58.7°C para finalmente, a 15 hPa, la temperatura fuera de -49.2°C (ligero calentamiento comparado al mes anterior). La relación de mezcla de ozono en esta capa ha sido baja.

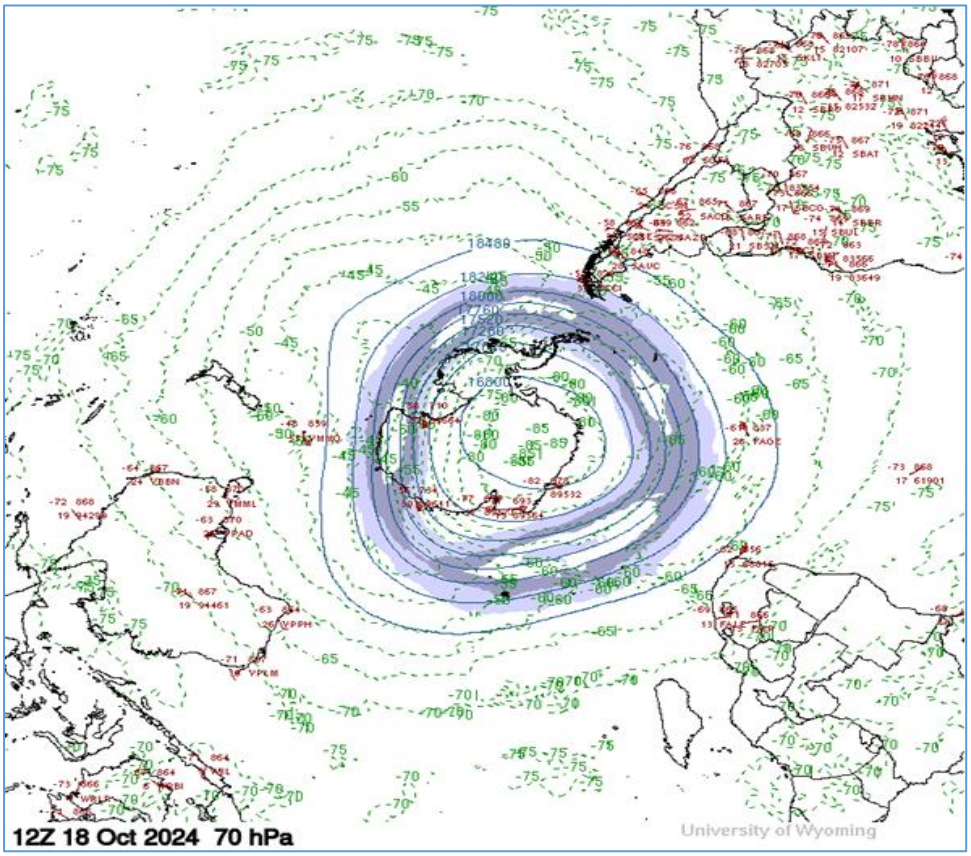
Cabe destacar que la temperatura promedio mensual a nivel de 70 hPa obtenida por la NOAA (-72.0°C) y la obtenida por un equipo de altura (-73.4°C), valores relativamente cercanos. Hay que tener en cuenta que la información de NOAA es promedio de la faja 25°N y 25°S, mientras que el registrado en la región central del país es puntual.

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

.

FIGURA N°11

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (18 octubre 2024)



Fuente: Universidad de Wyoming

III. CONCLUSIONES

1. El mes de octubre se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono sobre nuestro país (los medidos en superficie) empiezan a disminuir. El valor registrado, en este mes, fue de 245.0 UD como valor promedio. Este valor es inferior a lo obtenido el mes pasado y permite concluir que las concentraciones de ozono durante este mes, fueron relativamente bajas debido a la presencia de los vientos zonales negativos, así como a la ocurrencia de vientos del noreste y este y sur este de moderada intensidad, aunado a un moderado incremento en concentraciones de vapor de agua, especialmente en la capa de 100 hPa, en la sierra central. A nivel de 70 hPa también se registró un incremento de humedad, pero fue menor debido a que la circulación de los vientos a ese nivel, son cada vez más horizontales, reduciendo la influencia de los vientos ascendentes.

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 239.2 UD a 250.1 UD, límites inferior y superior, inferiores al mes anterior. Este decremento, está ligado al menor traslado de concentraciones de ozono hacia nuestras latitudes por efecto de una menor relación de mezcla el cual fue característico el mes pasado, especialmente en la estratósfera baja. Debido a este proceso las temperaturas en la estratósfera baja y media disminuyeron.

3. Con respecto a la distribución vertical del ozono, en el OVA Marcapomacocha, según información obtenida por el Metop-C/GOME-2, durante un día típico del mes de octubre, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical del hemisferio sur, se registró entre los 100 hPa y los 10 hPa (baja y media estratósfera) con valores que oscilaron entre 15 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 200 hPa y 10 hPa con valores entre 20 UD y 40 UD. La variabilidad en las concentraciones de ozono de este mes con respecto al de setiembre, ha sido influenciada principalmente por la circulación de los vientos, especialmente los provenientes por el sistema ciclónico formado en la región antártica, así como por el régimen térmico (establecimiento de la primavera austral).

4. El registro de concentraciones de ozono atmosférico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, casi se han mantenido de acuerdo a los valores registrados entre 13 UD a 23 UD, entre la alta tropósfera y media estratósfera (75°N – 30°N). Durante el mes de octubre se registraron procesos físicos de

moderada relación de mezcla de ozono de latitudes medias a altas, debido principalmente a procesos propios de la estación del otoño boreal, los cuales han permitido cierto mantenimiento de los valores de ozono con una tendencia a la disminución. A este proceso se aúna la Oscilación Quasi Bienal (QBO) así como el impacto que ejerce la circulación Brewer-Dobson en esta parte del hemisferio.

5. La concentración de vapor de agua que se pueda tener en la estratósfera es importante para el balance radiativo de la atmósfera, así como para la variabilidad en el comportamiento del ozono. Sobre nuestro país, al nivel de 46 hPa, se observó un ligero incremento en la región central con valores entre 3.25 ppmv y 3.61 ppmv), mientras que en la región sur osciló entre 3.81 ppmv a 4.19 ppmv (mayor al mes de setiembre) para finalmente en la región norte, concentraciones entre 3.42 ppmv y 3.71 ppmv (mayor al mes pasado). Cabe resaltar que concentraciones mayores, afectan grandemente el comportamiento espacial y temporal del ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, permitiendo una menor concentración de ozono atmosférico.

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 permite la disminución de las concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes, específicamente sobre nuestro país, son la aparición de vientos zonales negativos, los cuales fueron de intensidad moderada a partir de la segunda quincena de mes, principalmente en la estratósfera baja.

7. Los mapas de ozono total atmosférico (provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration – NASA), muestran el comportamiento de ozono en nuestro país, ligeramente menores al mes pasado, especialmente en la región central y sur, con valores que oscilaron entre 250 UD y 275 UD, durante gran parte del mes. Se registraron concentraciones bajas de ozono entre 225 UD y 250 UD, especialmente en la región sur del país, pero al igual que el mes pasado, fueron en días muy esporádicos. Los factores que determinaron el registro de estas concentraciones bajas fueron del tipo térmico, humedad y viento.

8. En lo que concierne al comportamiento del régimen térmico en la baja estratósfera (70 hPa) considerando la faja 20°N – 20°S, se puede mencionar que el mes de octubre, se caracterizó por registrar valores menores al mes pasado, con una tendencia a continuar con dicha disminución (-72.0°C), lo cual trajo como consecuencia, un decremento en las concentraciones de ozono en esta parte del continente.

9. Debido a que octubre es considerado como un mes donde el régimen térmico empieza a disminuir principalmente en la baja estratósfera de la región tropical, esto trae como consecuencia una disminución de las

concentraciones de ozono aunados a otros factores como la circulación de los vientos y el bajo aporte de ozono a través de la relación de mezcla. debido al inicio del periodo lluvioso.

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 las capas de 30 hPa y 15 hPa se ha continuado registrando un calentamiento pero ligero, mientras que en las capas de 100 hPa y 70 hPa se registró un ligero enfriamiento, debido al registro de un aumento en la humedad relativa, así como a una menor mezcla de ozono, comparado a la estratósfera media.

11. Se requiere disponer de información real de la concentración de ozono total a nivel del perfil vertical de la atmósfera a fin de realizar el contraste respectivo con lo obtenido por los satélites y determinar la desviación respectiva. En los periodos donde no se tenga información real, se podría utilizar el brindado por los satélites aplicando ciertos algoritmos de cálculo.

Dirección de Meteorología y Evaluación Ambiental Atmosférica:
Ing. Vannia Aliaga Nestares
valiaga@senamhi.gob.pe

Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico:
Ing. Jhojan Rojas Quincho
jprojas@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 diciembre de 2024

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