

Agosto 2024
vol. 08

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



Introducción

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

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

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

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

ANTECEDENTES

El SENAMHI cuenta con el Observatorio de Vigilancia Atmosférica (OVA) Marcapomacocha, ubicada en la sierra central del país (provincia de Yauli y departamento de Junín), asimismo, se encuentra a una altitud de 4,479 metros sobre el nivel del mar, a una latitud de 11°24'18"S y longitud de 76°19'31"O. Es una de las pocas estaciones a nivel mundial cercanas a la línea ecuatorial y en un medio natural megadiverso. A nivel sudamericano conjuntamente con las estaciones VAG de Natal (Brasil) y Chacaltaya (Bolivia) son las que reportan información continua de las propiedades físicas y químicas de la atmósfera en esta parte del continente.

Las actividades del OVA Marcapomacocha se enmarcan en las mediciones de la concentración de ozono total atmosférico en forma diaria realizadas con el Espectrofotómetro Dobson el cual contribuye con el Programa de Vigilancia de la Atmósfera Global - VAG de la Organización Meteorológica Mundial - OMM. Otras variables como la radiación ultravioleta, radiación solar global y parámetros meteorológicos también se vienen midiendo en dicho observatorio.

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

En el futuro el OVA Marcapomacocha también podrá realizar mediciones de dióxido de carbono (CO₂) (gas de efecto invernadero) y carbono negro (hollín).



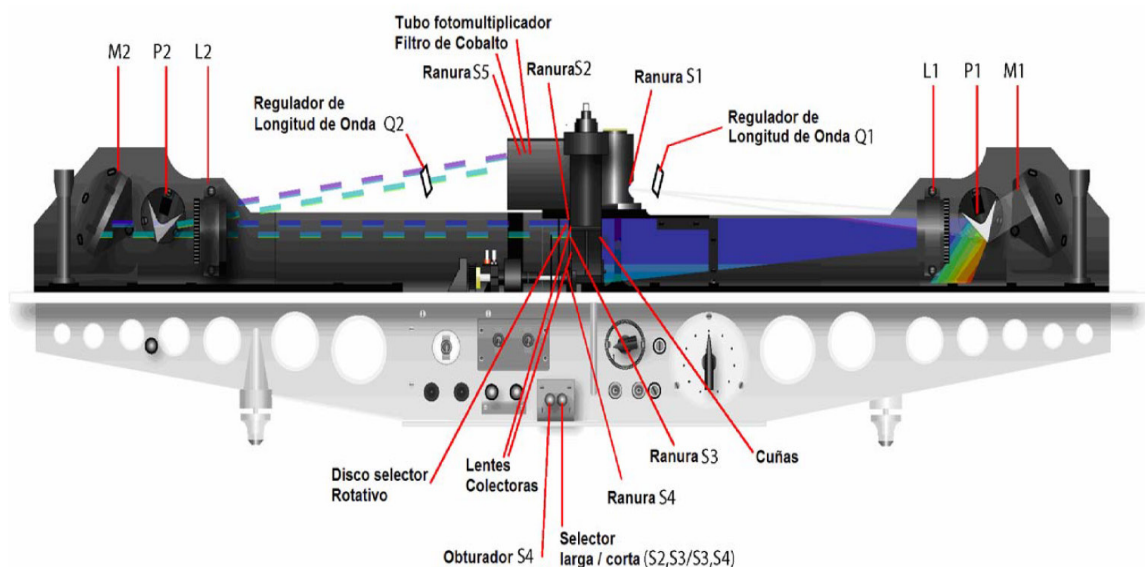
I.- CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

1.- MEDICION EN SUPERFICIE

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

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

FIGURA N° 1
Funcionamiento del Espectrofotómetro Dobson



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

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

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

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

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

2.- MEDICION DESDE SATÉLITE

Uno de los satélites que mide en forma continua la concentración de ozono es el satélite AURA el cual dispone de cuatro instrumentos para la medición de la tropósfera superior, estratósfera y mesósfera. El instrumento de monitoreo de ozono (OMI) continúa los 34 años de observación del ozono que comenzaron con el detector ultravioleta de retrodispersión (Backscatter Ultraviolet Detector, BUV) en 1970 y el espectrómetro de representación de la distribución de ozono total (Total Ozone Mapping Spectrometer, TOMS), en 1978. El OMI mide la luz solar reflejada y retrodispersada en las porciones ultravioleta y visible del espectro. Las capacidades hiperspectrales del instrumento (recopilación y procesamiento de la información a lo largo de todo el espectro electromagnético) mejoran la precisión y exactitud de las cantidades de ozono total.



II.-RESULTADOS.

En el mes de agosto la estratósfera baja de la región tropical ha presentado características térmicas a un ligero incremento, pero aun así continúan muy por debajo de sus valores normales, así como de sus límites máximos inferiores, lo cual ha permitido, que las concentraciones de ozono hayan registrado una tendencia al aumento con respecto al mes de julio. Durante el mes se observaron incrementos de la temperatura en la baja y media estratósfera a partir de la segunda semana, mientras que, en la primera, disminuyeron debido a la poca relación de mezcla de ozono, lo cual se tradujo en una disminución de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes. En la estratósfera alta, más bien se incrementaron en la primera quincena, para luego en la segunda, registrar una caída brusca. Cabe mencionar que en toda la estratósfera los valores de temperatura, si bien es cierto se lograron recuperar, pero aún así han estado por debajo de sus valores climáticos mínimos críticos. A partir de la segunda quincena del mes se registraron mayormente vientos del noreste (del hemisferio norte), los cuales aportaron moderadas concentraciones de ozono atmosférico trayendo como consecuencia una tendencia ligera hacia el incremento. En el caso de la alta tropósfera, los sistemas atmosféricos que gobiernan el tiempo sobre nuestro país, se encuentran todavía ubicados en el hemisferio norte debido a características propias de la estación astronómica de invierno. La convección húmeda mínima sólo quedó registrada, como hace varios meses, en la región norte del país (específicamente departamento de Tumbes) debido a la invasión de masas de aguas cálidas provenientes del hemisferio norte, presentando incidencias no solo en la circulación de los vientos de la alta tropósfera y baja estratósfera sino también en el régimen térmico. Se debe tener presente que estos procesos, así como la presencia de escasa humedad en la baja y medias estratósfera llegan a tener repercusión en las propiedades físicas de dicha capa, permitiendo obtener valores de ozono atmosférico algo similares 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 mayor establecimiento de la estación del invierno 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 20 de agosto) dado de que es representativa de la baja estratósfera. A lo largo del mes, climáticamente sobre nuestras latitudes, las concentraciones de ozono presentan un comportamiento al ascenso debido a la presencia de vientos cuasi meridionales provenientes del hemisferio norte, los cuales aportan concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes. En este mes más bien los vientos del este han sido algo parecidos al mes anterior especialmente durante los primeros diez (10) días, para luego dar paso a vientos cuasi meridionales provenientes del noreste. Asimismo, se apreciaron flujos de viento con núcleos anticiclónicos, los cuales fueron muy variables, ya que por algunos días se presentaban en el Pacífico Sur y en otros, en el Atlántico Sur, algunas veces indistintamente en cualquiera de estos lugares. El impacto que tuvieron estos sistemas fue la de permitir flujos mayormente zonales negativos y en esporádicos momentos flujos del noreste (estos flujos, permitieron un ligero incremento de las concentraciones de ozono a partir de la segunda década del mes.

En latitudes medias, del hemisferio sur, la circulación de vientos ha sido mayormente con vientos zonales positivos con presencia de algunos sistemas de vaguada, pero no significativa que permita su desviación hacia otras latitudes.

En cuanto al régimen térmico (latitudes 25°N - 25°S) podemos señalar lo siguiente: en la estratósfera baja y parte de la media, se ha observado un comportamiento al incremento (calentamiento) especialmente en 100 hPa, 70 hPa, 50 hPa y 30 hPa y una marcada disminución en la estratósfera alta (5 hPa, 2 hPa y 1 hPa), a partir de la segunda quincena del mes, ya que en la primera se registraron incrementos, pero siempre con valores muy por debajo de sus valores climáticos. Esta variabilidad térmica en niveles altos podría estar relacionado con la permanencia de vientos del este, así como por los vientos provenientes del noreste, así como también por la disminución de las concentraciones de humedad (más adelante se detallará el proceso). Ahora bien, en el caso de Perú, se debe remarcar que, de acuerdo a la información de superficie, las concentraciones de ozono en este mes han sido similares al mes pasado (a nivel promedio mensual), con una ligera tendencia al incremento. Cabe mencionar que los valores mínimos de ozono sobre nuestro país, en este mes, fueron superiores a los valores mínimos del mes de julio, pero con respecto a los valores máximos, menores. La amplitud entre dichos valores en el mes de agosto disminuyó, manteniendo un ascenso en cuanto a



los valores mínimos. Se registró una mayor frecuencia de vientos del noreste, pero con intensidades bajas, transportando bajas concentraciones de ozono 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 agosto a nivel de superficie, en el Observatorio de Vigilancia Atmosférica (OVA) Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario de la concentración de ozono atmosférico en general, estuvo oscilando entre 238.5 UD y 247.3 UD (UD = Unidades Dobson). A nivel promedio mensual fueron similares.

Se debe mencionar que en las primeras horas del día las concentraciones de ozono son relativamente altas debido al ozono acumulado en horas de la noche (cabe mencionar que, en agosto, climáticamente, se forma 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, es cada vez menor, por ende las concentraciones de ozono son relativamente bajas (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 bajos y altos (en los meses de invierno son menores), permite una reducción del ozono y en horas de la tarde a medida que el sol va llegando al ocaso (disminución de la intensidad de la radiación solar) las concentraciones de ozono vuelven a incrementarse. Este comportamiento horario también va a depender de otros factores como los ambientales (reacciones químicas durante el día, de compuestos o gases generadores de ozono troposférico) y meteorológicos (transporte de ozono de y hacia otras latitudes). Un punto importante a remarcar es el proceso de formación y destrucción del ozono por efectos fotoquímicos, mientras que la intensidad de la radiación solar se incrementa, dicha actividad será mayor y viceversa. En el periodo analizado, la intensidad de la radiación ultravioleta ha mostrado condiciones variables a pesar de encontrarnos en la estación de invierno. En algunas regiones, especialmente en el norte han sido similares al mes pasado, mientras que en la región central y sur los niveles se incrementaron debido a una anomalía en las concentraciones de ozono (descenso), especialmente durante los primeros diez (10) días. La cantidad de aerosoles tiende a disminuir debido a la época de estiaje con condiciones bastante secas y con mucha transparencia atmosférica, principalmente en la región andina norte. Se espera que en el mes siguiente dichos valores de radiación, empiecen a



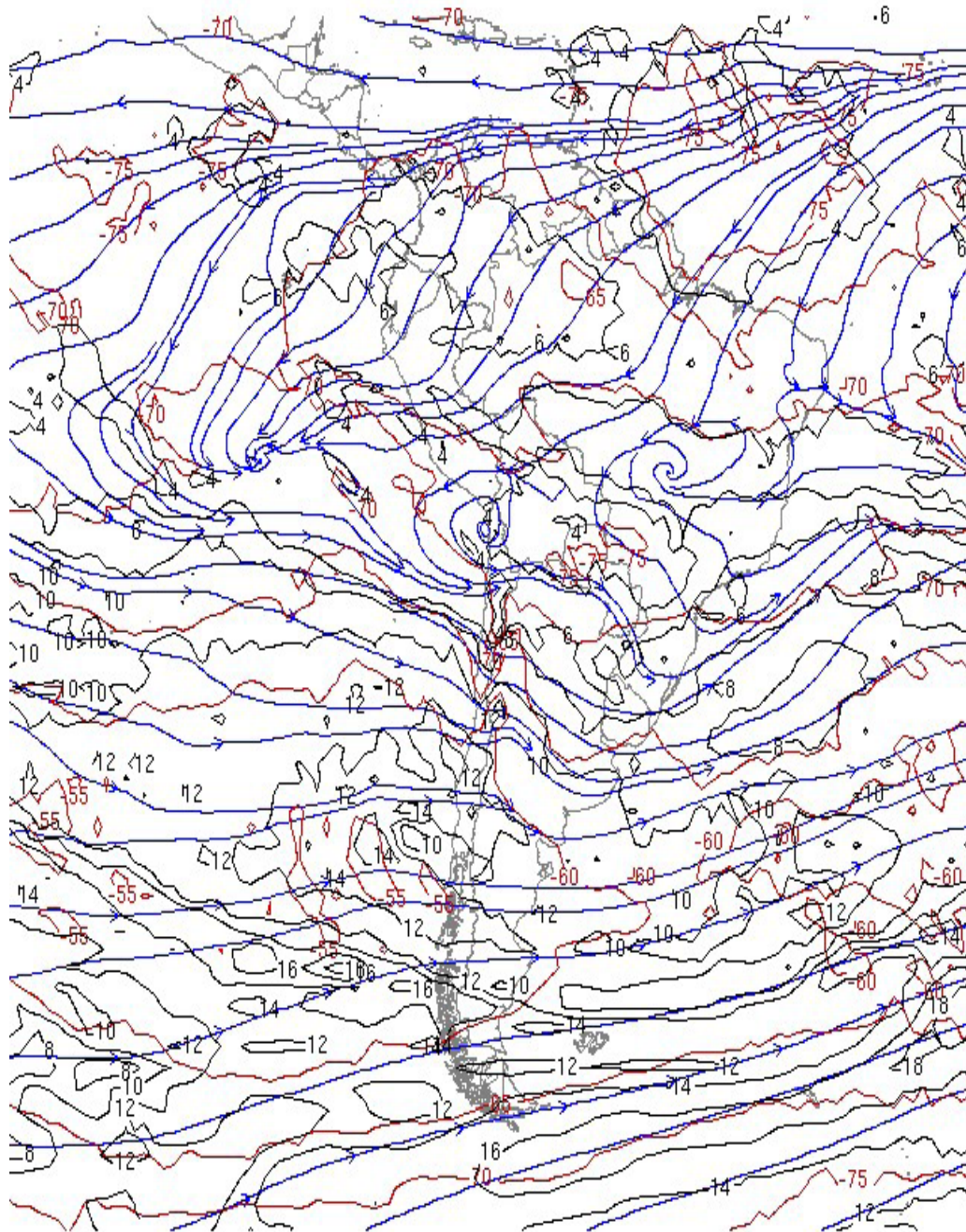
incrementarse debido a la cercanía con la estación de primavera.

FIGURA N° 2

Flujos de masas de aires zonales y quasi meridionales

Fuente: Weather Service de la University of Wyoming

Temperature [C] | Ozone Partial Pressure [ubar]



University of Wyoming

0 Hour 70 hPa Forecast Valid 18Z Tue 20 Aug 2024

El comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2021) del mes de agosto osciló entre 242.8 UD y 248.2 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de agosto del presente año, oscilaron entre 241.2 UD y 245.5 UD.

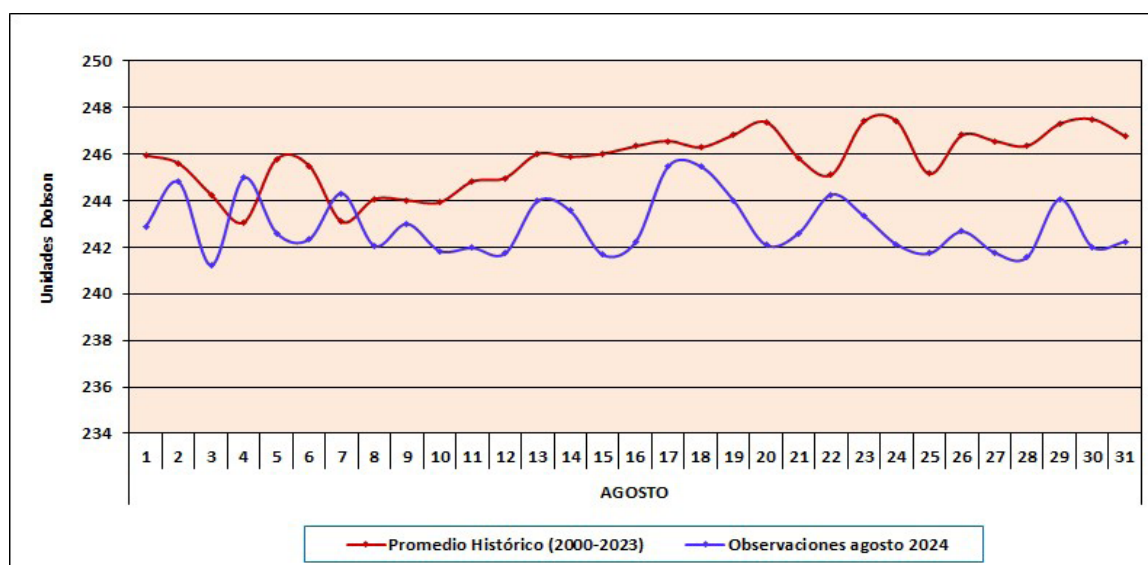
En la figura se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 94% por debajo de sus valores climáticos, mientras que un 6% por encima (especialmente a partir de la segunda semana del mes).

Ahora bien, 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 en la primera semana) y en otros más bien alejándose (a partir de la segunda semana), lo cual se atribuye a los cambios en la circulación atmosférica (vientos mayormente del este y el algunos momentos del 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. La tendencia de las concentraciones de ozono sobre nuestro país, con respecto al mes de julio ha registrado valores ligeramente menores (pero con una ligera tendencia al incremento, especialmente los valores mínimos) aunque en las tres últimas semanas disminuyeron los valores máximos como producto de anomalías en la circulación de los vientos en la media y alta estratósfera.

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 agosto, en todas las capas de la estratósfera, las temperaturas continúan muy por debajo de sus valores normales, aunque se debe remarcar que en la estratósfera baja, las diferencias en este mes se han acortado, así como en parte de la media estratósfera, probablemente debido a los flujos de circulación atmosférica entre las capas de 100 hPa y 30 hPa, provenientes del noreste así como del oeste.

FIGURA N° 3

Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Agosto 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 la el OVA Marcapomacocha se presentan dos picos, uno en el mes de marzo con un valor de 244.5 UD y el otro, mucho mayor, en el mes de setiembre con un valor de 251.3 UD. Por otro lado, los valores bajos de ozono se registran climáticamente en los meses de enero con valores de 242.2 UD y otro entre los meses de mayo y junio con valores de 240.9 UD y 240.8 UD respectivamente. El promedio mensual de ozono en el presente mes fue de 242.9 UD inferior en 3.5 UD al promedio mensual multianual (246.5 UD).

Se debe tener presente que, en la región tropical durante los meses del invierno austral, vale decir desde el 21 de junio hasta el 21 de setiembre, las concentraciones de ozono tienden al ascenso (climático) debido a factores astronómicos, así como a procesos de la circulación a nivel de estratósfera (vientos del noreste, así como una mayor 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 permite el déficit de ozono atmosférico en latitudes bajas (mucho más en los meses de mayo-junio). Cabe remarcar que 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 agosto, se ha continuado con la persistencia de masas de aire provenientes del este durante gran parte del mes, combinado con vientos del

noreste (de menor intensidad) los cuales aportaron pocas concentraciones de ozono.

Los procesos de advección húmeda han sido nulos 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, manteniendo condiciones de alta humedad en toda esa región. Probablemente se haya registrado algún proceso de advección húmeda tropósfera-estratósfera (aunque regionalmente continúa siendo pequeño) motivo por el cual las concentraciones de ozono se hayan mantenido parecido al mes pasado. A esto se le añade el flujo de vientos provenientes del noreste pero menos intensos, los cuales han tratado de equiparar los déficits de ozono ocurridos en los meses anteriores, pero sin conseguirlo.

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 41% de días del mes de agosto los valores de ozono diario medidos estuvieron por debajo de lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson. Para el caso de SUOMI/OMPS, ocurre lo mismo, durante el 48% de días del mes estuvieron por debajo 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 superiores, especialmente a partir de la segunda quincena del mes. 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 21 UD como producto del tipo o forma de medición que realiza el satélite, así como por factores de circulación atmosférica.

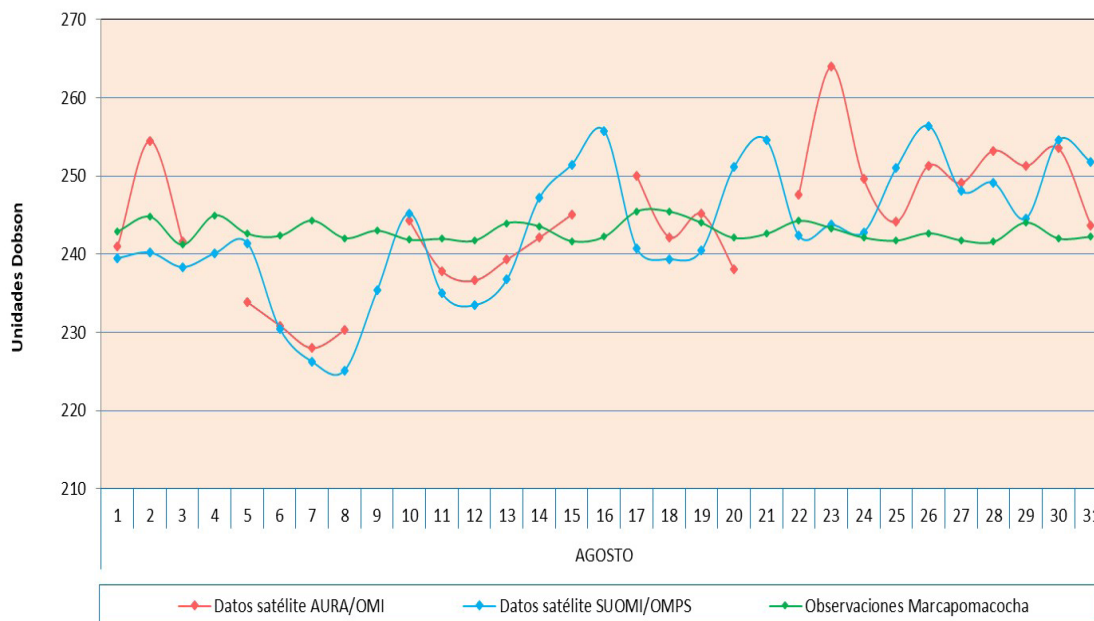
Cabe mencionar, que la tendencia de las concentraciones de ozono medidos en superficie ha registrado un ligero decremento durante el mes, debido a anomalías en la circulación de los vientos en la atmósfera, mientras que los medidos con los satélites, muestran una tendencia al incremento.

El pronóstico, de acuerdo a la climatología, es que las concentraciones de ozono se lleguen a incrementar en el mes de setiembre (siempre y cuando desaparezca esa anomalía atmosférica) hasta el mes de octubre aproximadamente, para luego volver a disminuir en el tiempo.



FIGURA N° 4

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



Perfil Vertical de Ozono Atmosférico

Por lo general, el 10% de la concentración de ozono se encuentra en la tropósfera y el otro 90% en la estratósfera. En ese sentido, cobra vital importancia monitorear el comportamiento vertical de este gas en diferentes niveles de la atmósfera para conocer su variabilidad en el tiempo y poder relacionarlos con posibles cambios en los sistemas atmosféricos característicos de la región (cambios en la transferencia radiativa o circulación de los vientos). Se debe mencionar que en los últimos 40 años el uso de las sustancias agotadoras de ozono empezó a disminuir para dar paso al uso de sustancias sustitutas, los cuales al fin y al cabo destruyen el ozono atmosférico, pero en menor cantidad. Actualmente es notoria, la emisión de gases de efecto invernadero los cuales tienen efecto en el comportamiento del ozono principalmente en la baja estratósfera debido a los efectos de la dinámica atmosférica, así como de las reacciones fotoquímicas. Se suma a ello las implicancias que pudiera tener, en las concentraciones de ozono, la erupción del volcán Hunga Tonga, anteriormente explicado en párrafos anteriores.

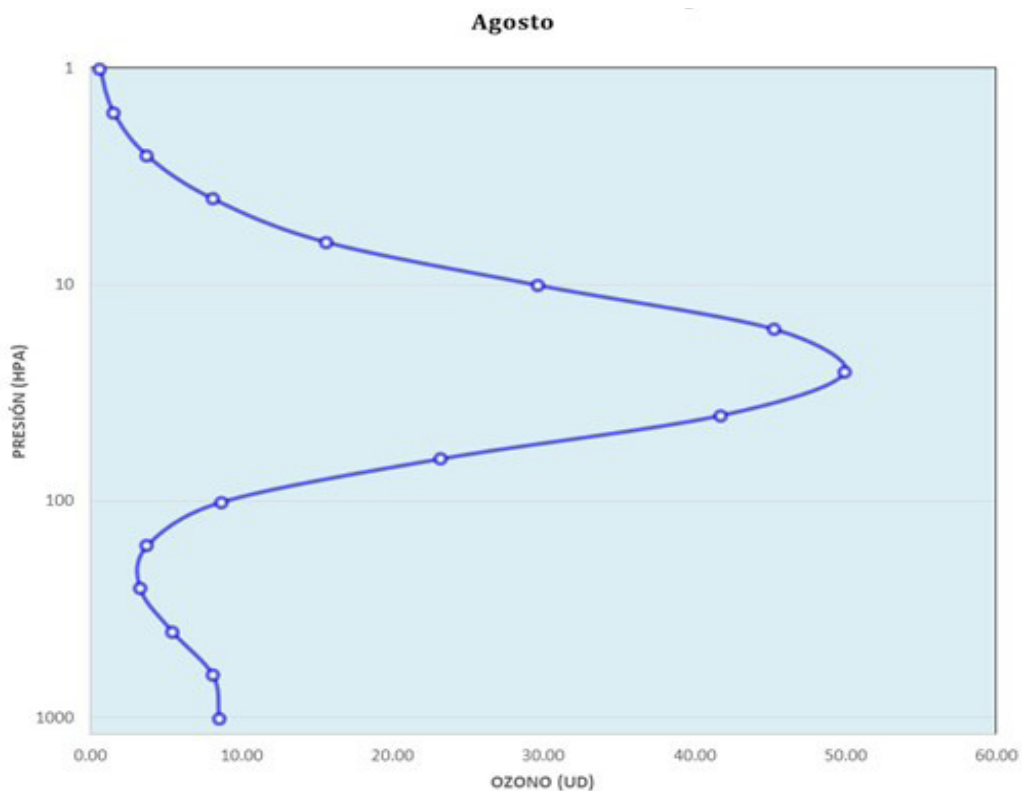
Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial), desde el año 2000 hasta el 2020 se han observado por medio de mediciones del perfil vertical de la atmósfera y el desarrollo de modelos numéricos, una disminución en las concentraciones de ozono (~2% por década) en la estratósfera baja de la

región tropical (20°S - 20°N), asimismo en la estratósfera media algo parecido para finalmente en la estratósfera superior un aumento de 2% por década.

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

A nivel de tropósfera generalmente, las concentraciones de ozono disminuyen con la altura, para luego a nivel de estratósfera sufrir un incremento ostensible debido al incremento de la temperatura. En la estratósfera alta empiezan a disminuir en forma paulatina. El gráfico presentado es para remarcar que las mayores concentraciones de ozono se registran en esta segunda capa de la atmósfera. Se observa que las concentraciones de ozono son ligeramente mayores 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 51 UD.

FIGURA N° 5
Perfil vertical de ozono atmosférico del OVA Marcapomacocha
Fuente: National Aeronautics and Space Administration – NASA



Según información de perfil vertical de ozono atmosférico para un día típico del mes de agosto (día 05) 2023 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones bajas comparadas al mes pasado, cuyos valores han oscilado entre 13 UD y 23 UD, entre la baja y media estratósfera (el área de cobertura latitudinal de estas concentraciones altas se dio entre 40N°-90°N). Cabe mencionar que dicho hemisferio, se encuentra en la estación de verano, registrándose concentraciones relativamente bajas de ozono en latitudes medias y altas con tendencia a continuar disminuyendo, debido a la moderada humedad atmosférica, así como a la influencia de los vientos zonales sobre dichas latitudes. Por otro lado, el régimen de temperatura en la estratósfera baja empieza a disminuir, mientras que en la media y alta continúan disminuyendo y siempre por debajo de sus valores normales).

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 (15 UD a 23 UD) en latitudes bajas del hemisferio norte fue de 60 hPa y 08 hPa, mientras que en latitudes bajas del hemisferio sur (23 UD a 12 UD) la altura fue también de 90 hPa y 10 hPa. En latitudes medias del hemisferio sur más bien se registraron concentraciones altas con valores entre 18 UD y 33 UD, pero a una altura entre 150 hPa y 10 hPa.

En esta temporada, las concentraciones de ozono, por lo menos en esta parte de la región tropical, especialmente entre el sur de Perú y parte occidental de Bolivia, han registrado un ligero decrecimiento, por factores de circulación de vientos, así como por efecto de moderadas concentraciones de vapor de agua que fueron 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 20 hPa con valores entre 12 UD y 22 UD (anomalía), especialmente en la región central y sur del país, mientras que, en la sierra norte, las concentraciones oscilaron entre 15 UD y 25 UD a una altura de 60 hPa y 20 hPa.

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



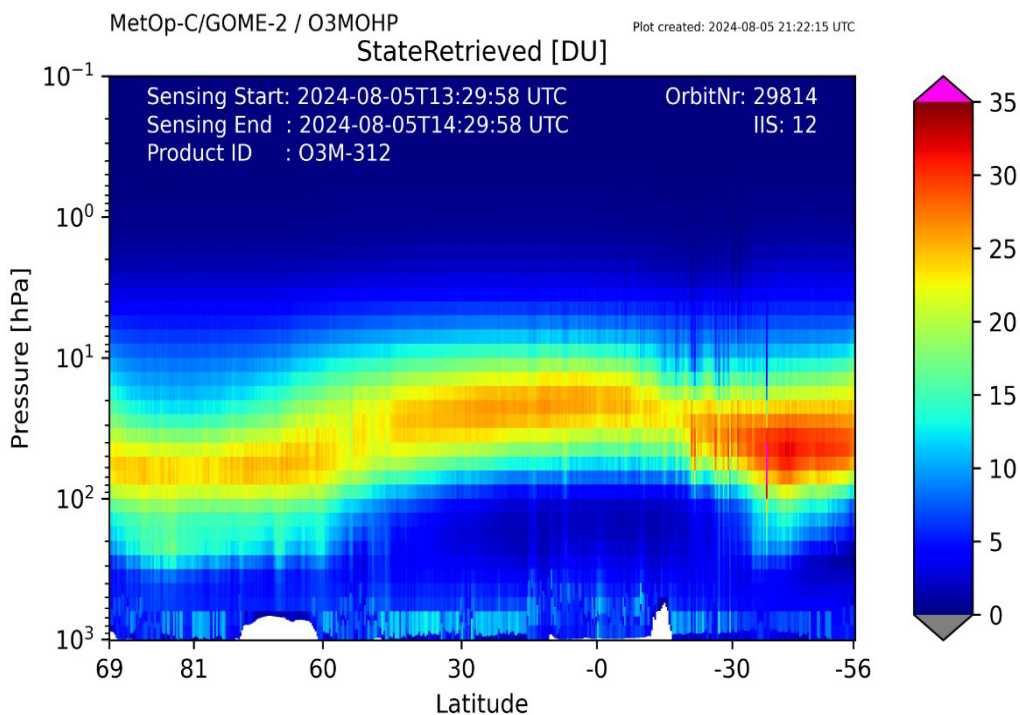
concentraciones de ozono son bajas (oscilan, generalmente, entre 1 UD y 10 UD), esto se debe a los efectos residuales de la formación del ozono del día anterior, así como también a otros procesos físico-químicos. En la estación de verano estos procesos son intensos debido al incremento de la actividad 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 tiene la ocurrencia de una circulación de este a oeste, en el hemisferio norte por lo que las concentraciones de ozono han continuado disminuyendo. Se ha seguido observando una circulación que en cierta manera ha “encapsulado” este gas, con una baja persistencia, los cuales han mostrado concentraciones de ozono parecidas a los del hemisferio sur. Es importante mencionar que dicho hemisferio se encuentra en periodo bastante cálido, motivo por el cual tanto los procesos físicos como químicos llegan a tener una mayor actividad fotoquímica permitiendo la variabilidad 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.

A nivel global continúa la disipación del periodo cálido (aunque todavía quedan remanentes) vivido desde el año 2023 hasta la fecha los cuales permiten tener almacenado calor en la atmósfera y por ende concentraciones moderadas de humedad relativa, los cuales tienen repercusión en las concentraciones de ozono. Para el caso de nuestro país las condiciones atmosféricas son cada vez más frías debido a factores meteorológicos (Anticiclón del Pacífico Sur y advecciones frías) como oceanográficos (temperatura de agua de mar).

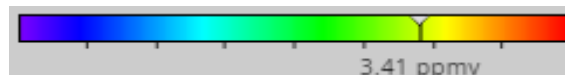
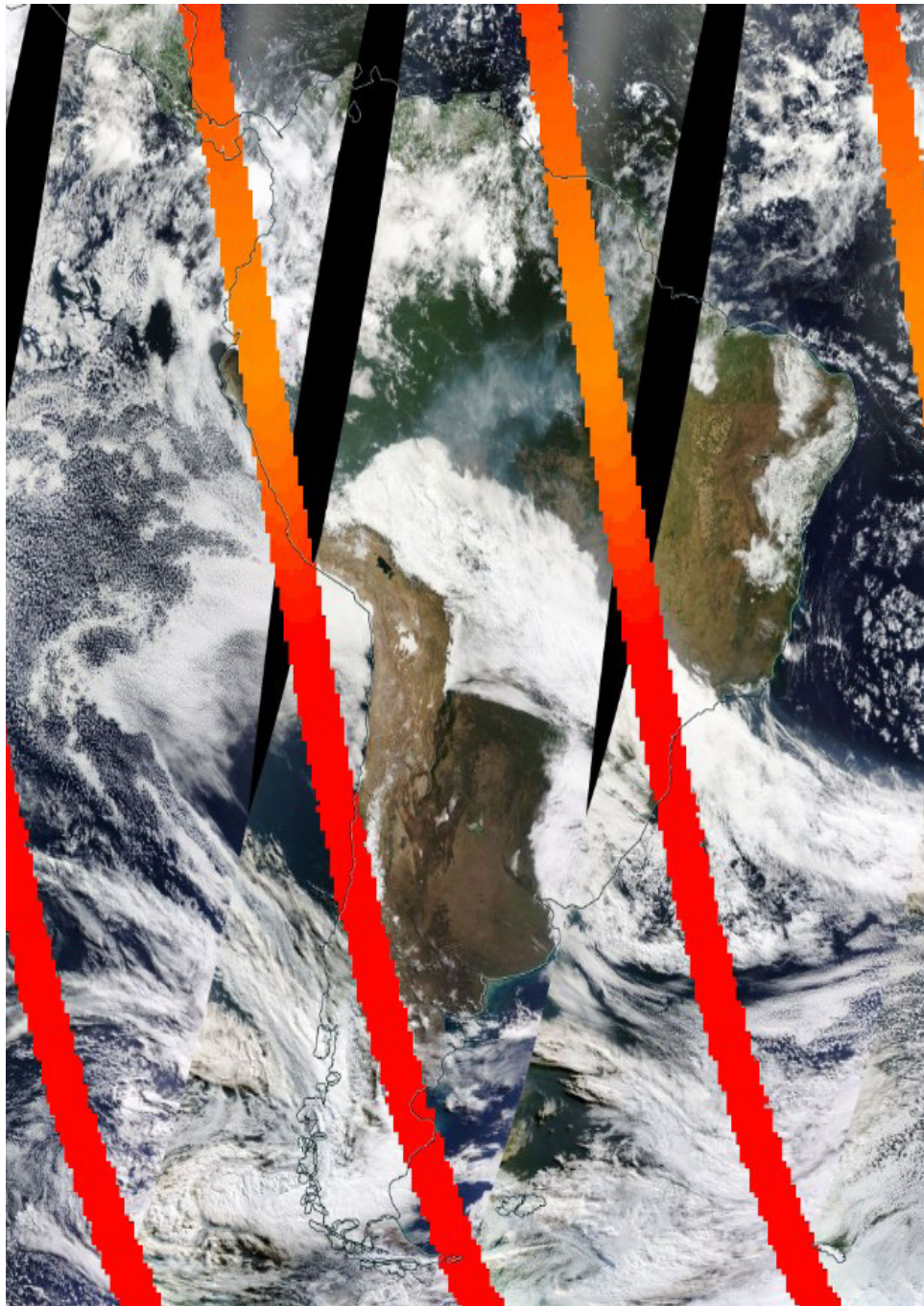
En la figura 7 se observa un mapa con concentraciones de vapor de agua a nivel de 46 hPa (límite entre la estratósfera baja y media) para un día típico del mes (18 agosto 2024), obtenida de la Earth Data de la National Aeronautics Space Administration - NASA. En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua relativamente bajas. Por ejemplo, en la región norte del país las concentraciones oscilaron entre 4.00 ppmv a 4.10 ppmv, mientras que en la región central valores entre 4.10 ppmv y 4.20 ppmv. En la región sur del país, concentraciones entre 4.38 ppmv y 4.48 ppmv. Tal como se observa, la concentración de humedad se ha incrementado en la región sur siendo uno de los factores para la disminución de las concentraciones de ozono



atmosférico el cual también ha abarcado parte de la región central del país, por lo menos hasta los primeros diez (10) días del mes.

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.

Ahora bien, 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 agosto fue de 19%, mientras que a nivel de 70 hPa fue de 5%, por otro lado, a 50 hPa fue de 2%. Finalmente, en la parte media de la estratósfera, vale decir, 30 hPa, la humedad relativa fue de 2% y a nivel de 15 hPa también de 1%. El contenido de humedad en la atmósfera disminuyó uno por ciento, con respecto al mes pasado lo cual tiene injerencia con las concentraciones de ozono que se registran en esta parte del país aunado a la poca relación de mezcla de ozono atmosférico.

COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO SOBRE EL PERÚ

En cuanto al análisis de los mapas en forma diaria 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 julio (con excepción de la región norte), debido a la ocurrencia de vientos provenientes del este durante la primera década del mes, mientras que a partir de la segunda década los vientos fueron del noreste pero no tan concurrentes y de baja intensidad. Tal como se explicó en párrafos anteriores, se registró una moderada concentración de humedad en la baja estratósfera. Por el lado del Pacífico también se registraron concentraciones de ozono bajos en el sur y altos en latitudes bajas.

En casi todo el mes, sobre la región sur y central (en menor proporción) las concentraciones de ozono atmosférico disminuyeron ostensiblemente debido a masas de aire provenientes del este, así como a la poca relación de mezcla de ozono. Las concentraciones de ozono en la región sur oscilaron entre 200 UD y 250 UD.

Cabe remarcar que entre los días entre el 01 y 10 de agosto se registraron concentraciones bien bajas de ozono (250 UD y 200 UD) que abarcaron gran parte de la región sur del país, así como también parte de la región central. En la segunda y tercera década del mes, el área de cobertura del ozono disminuyó debido a que sus concentraciones se incrementaron de 250 UD a 275 UD. Por otro lado, en la región norte las concentraciones de ozono fueron



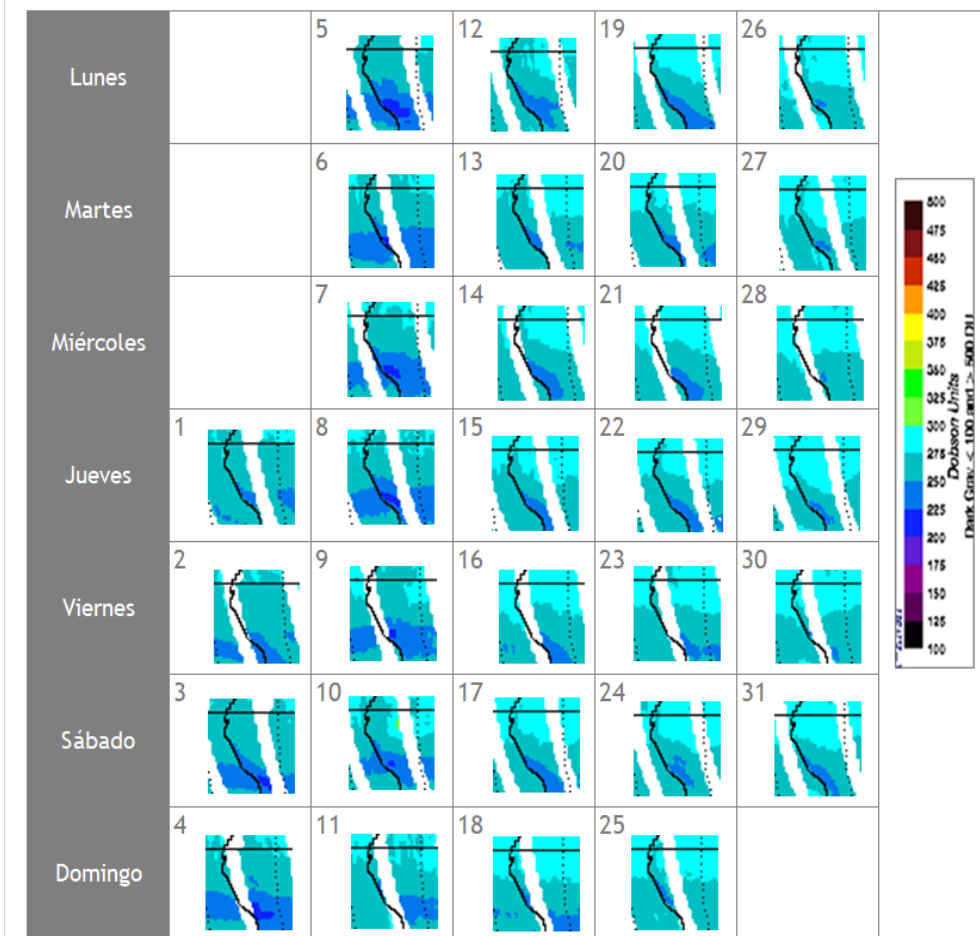
mayores a los del sur con valores entre 250 UD y 275 UD, debido a que fueron mayormente afectados por los vientos provenientes del noreste a partir de la segunda década de agosto. Las bajas concentraciones de ozono afectaron toda la zona sur del país, pero también afectaron la región occidental de Bolivia. La circulación de los vientos en la baja y media estratósfera registraron ciertas anomalías en cuanto a dirección permitiendo la reducción de este gas.

Asimismo, en este mes, se registraron ingresos, no tan continuos y de baja intensidad, de masas de aire del noreste, los cuales permitieron un ligero incremento de las concentraciones de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, especialmente en las regiones del norte. Es importante mencionar que agosto es el mes donde climatológicamente continúa el registro de incrementos en las concentraciones de ozono sobre nuestro país, los cuales se traducen en moderados 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 agosto 2024

Fuente: Satélite AURA



FLUJO DE VIENTOS EN LA BAJA Y MEDIA

ESTRATOSFERA

Una de las herramientas que ayuda a entender la mayor o menor concentración de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, específicamente sobre Perú es la información de viento en altura, especialmente el de la baja y media estratósfera. A la fecha se cuenta con información de viento para el mes de agosto 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. 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 agosto al nivel de 100 hPa fue mayormente del oeste y noroeste, influenciados aún por los flujos de 200 hPa y 150 hPa, con intensidades que oscilaron entre 4 m/s y 15 m/s con una persistencia de 65%. Asimismo, se registraron vientos del norte, este y suroeste con una persistencia de 35% y con una velocidad entre 2 m/s y 7 m/s. Climáticamente los flujos de viento en este nivel son mayormente del oeste.

A nivel de 70 hPa los flujos de viento fueron mayormente del este y sureste con velocidades que oscilaron entre 4.0 m/s y 11 m/s con una persistencia de 64%. En otras direcciones la persistencia fue de 36% con velocidades entre 1 m/s y 8 m/s.

En el nivel de 50 hPa los flujos de viento fueron en su mayoría del este, sureste, sur y suroeste con una persistencia del 75% con velocidades entre 3 m/s y 12 m/s.

MEDIA ESTRATÓSFERA

En el nivel de 30 hPa los flujos predominantes de viento fueron del oeste, suroeste con una persistencia de 54%. Cabe mencionar que las velocidades de viento oscilaron entre 7 m/s y 12 m/s. En otras direcciones la persistencia fue de 46 % con velocidades de viento entre 1 m/s y 6 m/s.

Finalmente, en el nivel de 15 hPa los flujos fueron mayormente del oeste y suroeste, con velocidades que oscilaron entre 10 m/s y 20 m/s con una persistencia de 78%, mientras que en otras direcciones la persistencia fue de 22% con vientos que superaron los 2.0 m/s hasta los 9.0 m/s.

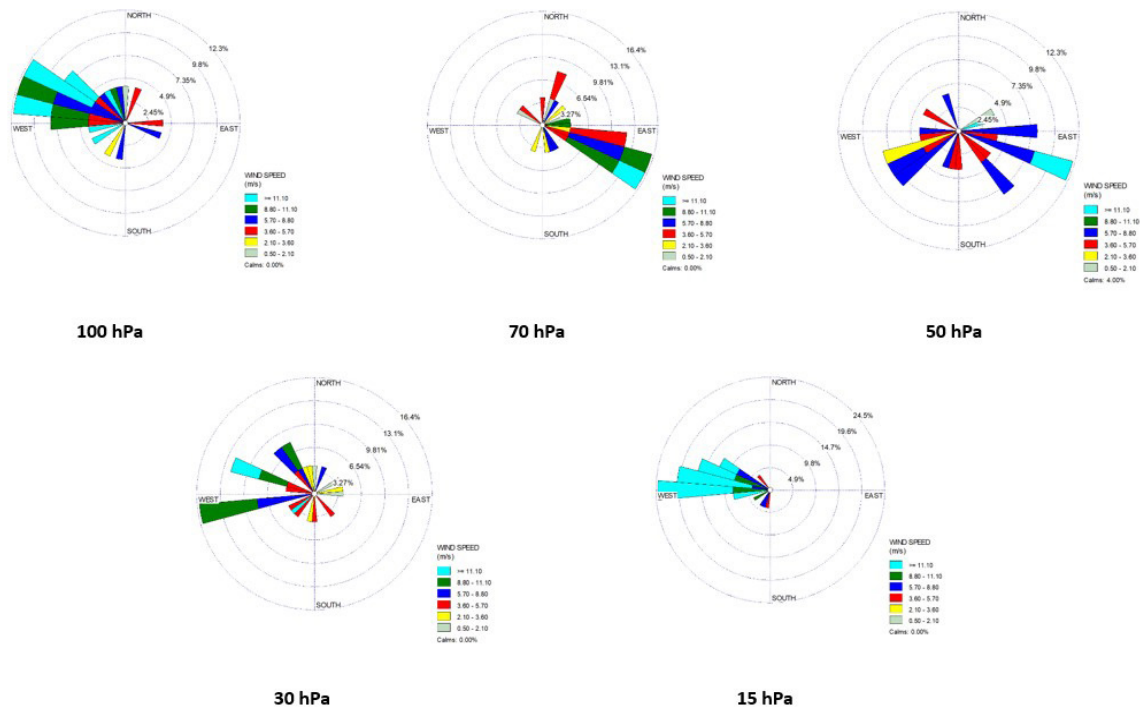


Realizando una síntesis de este análisis, se observó que los vientos provenientes del oeste son los más frecuentes en parte de la baja estratósfera (100 hPa) así como en la media (30 hPa y 15 hPa), mientras que en otra parte de la baja estratósfera (70 hPa y 50 hPa) los vientos han sido mayormente del este. Esta variabilidad en la dirección de los vientos, así como sus intensidades, especialmente en las capas de 70 hPa y 50 hPa, ha permitido registrar poca relación de mezcla de ozono por lo que las concentraciones disminuyeron ligeramente en el mes de agosto comparado con sus valores normales. Hay que remarcar que durante el mes en realidad hubo un ascenso en las concentraciones de ozono, pero no fueron lo suficientemente esperado. Se registró una anomalía en la circulación de los vientos que permitiera un descenso brusco de ozono, especialmente en la región sur del país, así como en Bolivia, durante los primeros diez (10) días del mes de agosto. A esto hay que añadirle la baja humedad atmosférica, el cual ha sumado para este descenso en las concentraciones de ozono. Este tipo de flujo sustenta la figura 2 donde los vientos son mayormente zonales con ingresos esporádicos del noreste.

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 agosto 2024



TEMPERATURA EN LA BAJA Y MEDIA

ESTRATOSFERA

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

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

En la Figura 10 se muestra la distribución temporal de la temperatura desde el mes de enero 2023 hasta el mes de agosto 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.

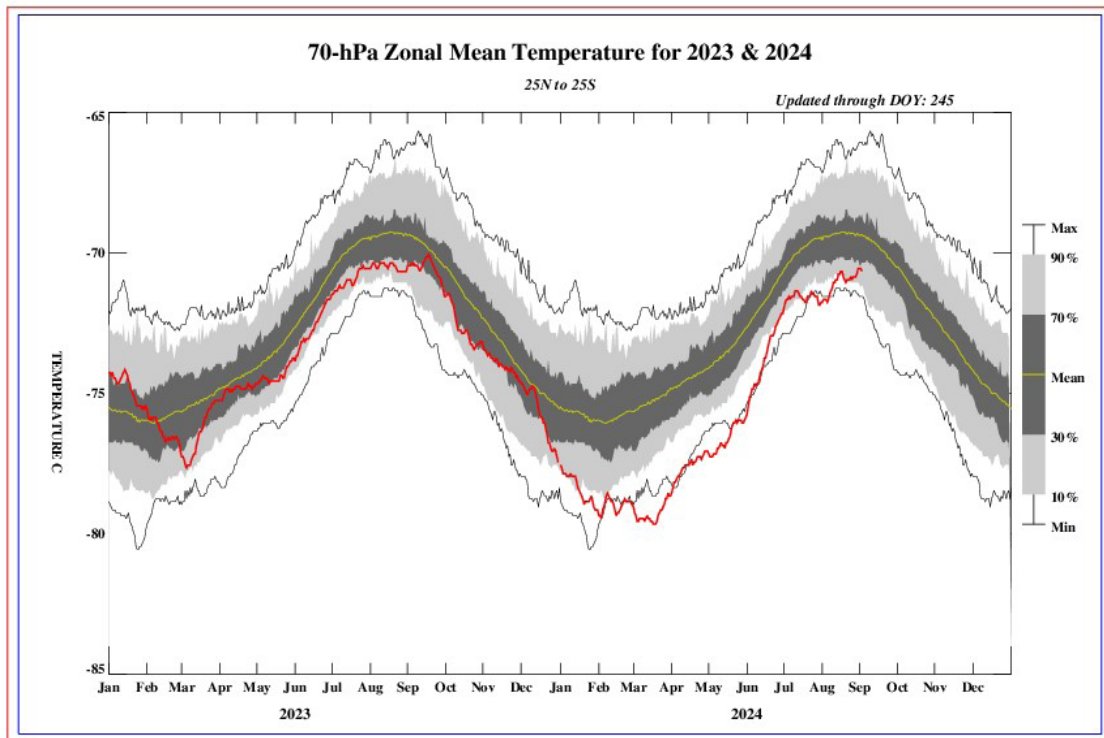
Durante los días de registro, la temperatura en ese nivel (línea de color rojo), ha registrado una tendencia al incremento, después de la segunda década del mes, tal como muestra la figura, pero aun así continua por debajo de sus valores normales (línea de color amarillo), a veces por debajo de sus mínimos extremos (cada vez acercándose de sus normales climáticas), permitiendo una cierta recuperación de la concentración de ozono atmosférico en dicha franja tropical (cabe mencionar que dicha recuperación ha sido mínima). A pesar del comportamiento térmico del aire en ese nivel, las concentraciones de ozono, en nuestro país, lograron registrar valores menores a nivel diario (especialmente los valores máximos), con una tendencia a continuar manteniéndose en un primer momento para luego empezar a aumentar hasta el mes de setiembre y parte de octubre. Se debe remarcar que, durante el mes de agosto, las temperaturas, observadas en las capas bajas de la estratósfera continúan persistiendo por debajo de sus valores normales, con tendencia a un ligero incremento, mientras que, en la estratósfera alta, el régimen térmico tuvo un comportamiento variable, con descensos y ascensos.

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 Biental, 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 -69.0°C , menor en valor numérico al mes pasado, pero físicamente “más cálido”. La temperatura calculada en este mes, fue de -71.0°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 242.9 UD, similar al mes anterior.

FIGURA N° 10
Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de agosto 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 -75.3°C , mientras que a nivel de 70 hPa fue de -71.1°C , valores relativamente distantes con una diferencia entre ellas, de 4.2°C . Cabe mencionar que entre las dos capas existe aproximadamente una distancia de 2 km permitiendo que haya una estrecha relación entre el límite de la alta tropósfera y la baja estratósfera en cuanto a intercambio de energía, especialmente en esta parte de la región tropical. Ver Figura 11.

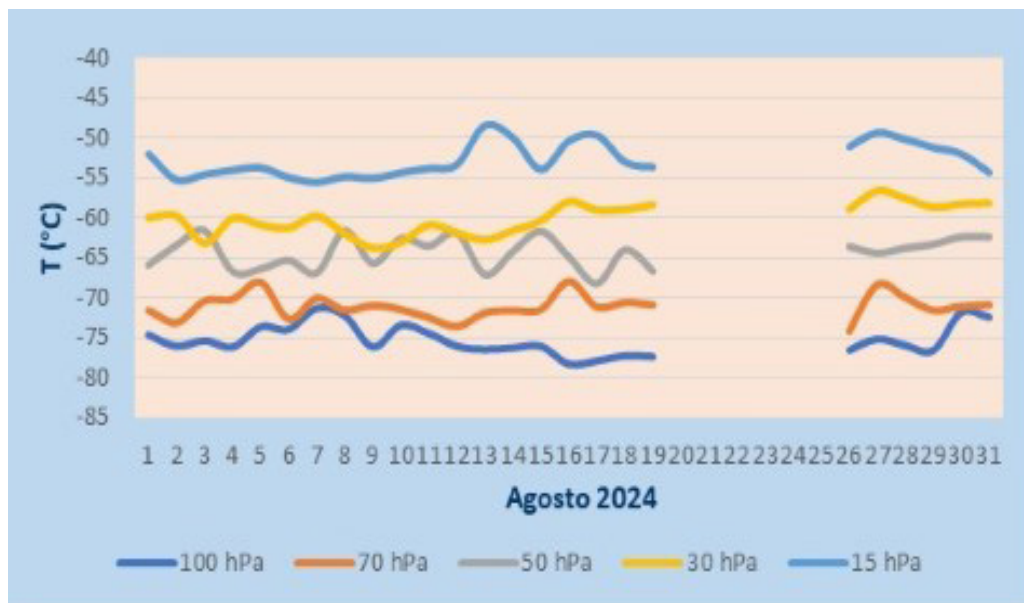
A nivel de 50 hPa, la diferencia es más notoria con una temperatura promedio del mes de -64.3°C (similar al mes pasado).

En la media estratósfera, a 30 hPa, la temperatura promedio registrada fue de -60.1°C para finalmente, a 15 hPa, la temperatura fuera de -52.7°C (mayor enfriamiento comparado al mes anterior). La relación de mezcla de ozono en esta capa ha sido muy baja (proceso anómalo).

La temperatura promedio mensual a nivel de 70 hPa obtenida por la NOAA (-71.0°C) y la obtenida por un equipo de altura (-71.1°C), prácticamente son coincidentes, 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 incremento (proceso físico "cálido").

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 agosto, es mostrado en la Figura 12 (University of Wyoming) en donde se aprecia que las temperaturas, específicamente, en el continente Antártico han registrado valores entre -85°C a -90°C , debido a condiciones bastante frías debido a la presencia del vórtice polar. Las temperaturas en dicho continente paulatinamente registrarán un ascenso debido al inicio de la estación de primavera en el mes de setiembre.

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

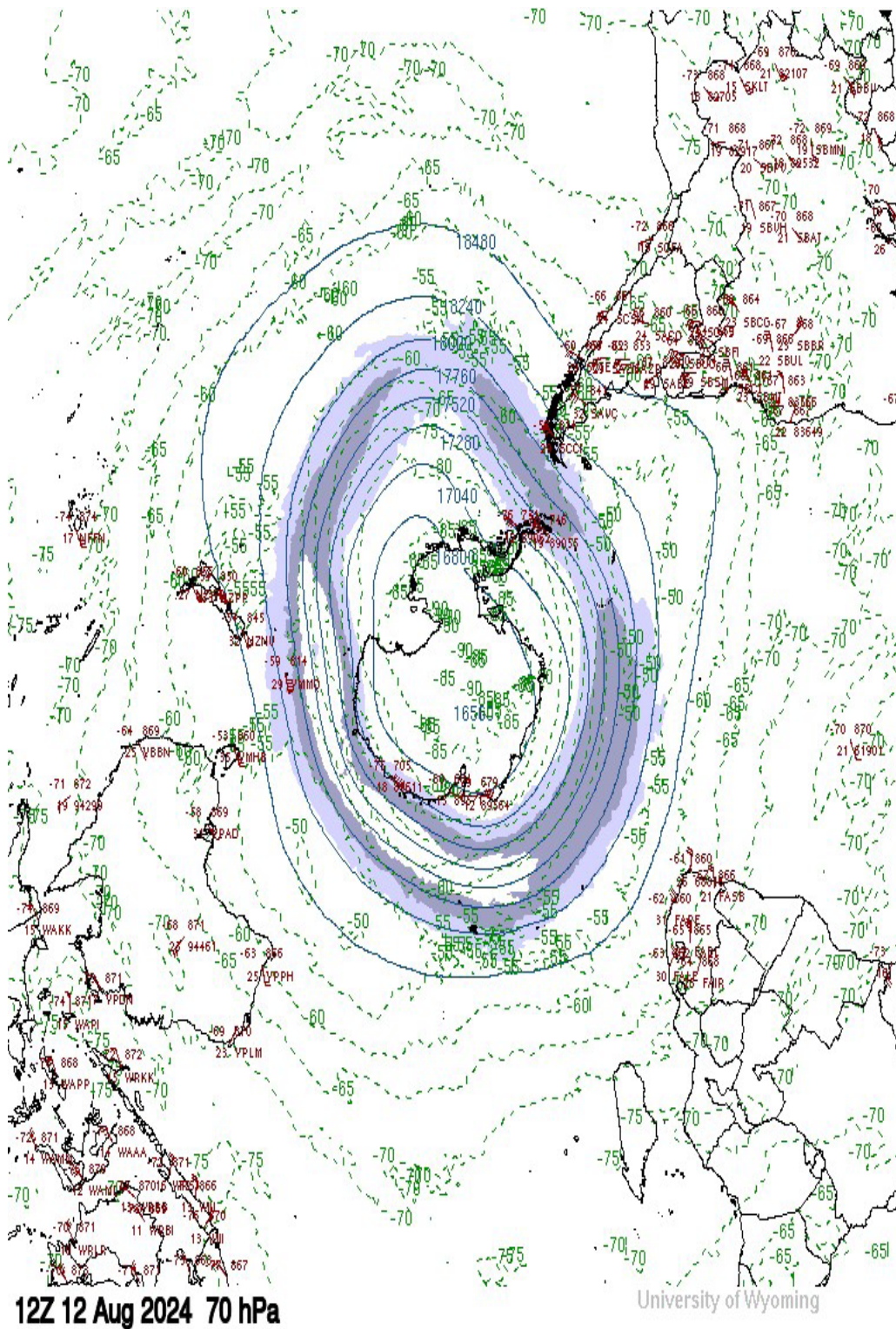
En latitudes bajas (20°N - 20°S), las temperaturas en este mes, en la atmósfera alta (baja estratósfera), como se ha mencionado anteriormente, ha continuado registrando valores muy por debajo de sus normales climáticas, por momentos hasta fuera de sus mínimos extremos, pero con una tendencia al incremento, lo cual tiene injerencia en los procesos de transferencia radiativa.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel han registrado un valor de -71.1°C , mayor (proceso físico) al mes pasado, más “cálido”, siendo uno de los factores para que las concentraciones de ozono atmosférico, en esta capa, hayan registrado una ligera tendencia al ascenso especialmente durante la segunda década del mes, debido a circulaciones de viento zonales, en un primer momento, y luego cuasi meridionales en un segundo momento permitiendo un ligero incremento de las concentraciones de ozono, pero por debajo de sus valores normales.



FIGURA N° 12

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (12 agosto 2024)



Fuente: Universidad de Wyoming

III.-CONCLUSIONES

1. El mes de agosto se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono sobre nuestro país (los medidos en superficie) se incrementan. El valor registrado, en este mes, fue de 242.9 UD como valor promedio. Este valor es similar a lo obtenido el mes pasado y permite concluir que las concentraciones de ozono durante parte del mes fueron bajas debido a la presencia todavía de los vientos zonales negativos, así como a la ocurrencia esporádica de vientos del noreste y de baja intensidad, aunado a moderadas concentraciones de vapor de agua, especialmente en la capa de 100 hPa, en la sierra central. Cabe mencionar que, durante la primera década del mes, se registró una disminución bastante notoria, de ozono atmosférico, en la región sur del país y parte de Bolivia, debido a una anomalía en la circulación de los vientos. Dicha anomalía afectó también a la región central del país, pero en menor proporción.
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 241.2 UD a 245.5 UD, límite inferior, más alto que el mes anterior y límite superior más bajo. Esta variabilidad, ha sido explicado en los párrafos anteriores, pero también se le suma a ello, el efecto de la relación de mezcla de ozono, el cual ha sido bastante baja, especialmente en la estratósfera media y parte de la alta. Debido a este proceso las temperaturas decayeron trayendo como consecuencia una disminución en los valores máximos de ozono.
3. Durante la primera década del mes de agosto, entre la región sur del país y el lado occidental de Bolivia, se ha continuado registrando concentraciones muy bajas de ozono atmosférico (al igual que desde fines del mes julio) debido a una variación en la circulación de los vientos entre la media y alta estratósfera.
4. Con respecto a la distribución vertical del ozono, en el OVA Marcapomacocha, según información obtenida por el Metop-C/COME-2, durante un día típico del mes de agosto, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical del hemisferio sur, se registró entre los 90 hPa y los 10 hPa (baja y media estratósfera) con valores que oscilaron entre 12 UD y 23 UD (ligeramente menor al mes anterior), mientras que en latitudes medias del hemisferio sur, la altura de las máximas concentraciones se dio entre los 150 hPa y 10 hPa con valores entre 18 UD y 33 UD. La variabilidad en las concentraciones de ozono de este mes con respecto al de julio, ha sido influenciada



principalmente por la circulación de los vientos, especialmente en la región sur del país, así como por factores descritos en los puntos 1 y 2.

5. El registro de concentraciones de ozono atmosférico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, fueron menores al mes pasado con valores entre 12 UD a 23 UD, entre la alta tropósfera y media estratósfera. Durante el mes de agosto se registraron procesos físicos de baja relación de mezcla de ozono de latitudes medias a altas, así como al mayor establecimiento de la estación de verano, los cuales han permitido dicha disminución (mayores procesos fotoquímicos). 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. Hay que remarcar que climáticamente, la tendencia es al incremento de las concentraciones de ozono (HS) debido a lo mencionado líneas arriba.
6. La concentración de vapor de agua que se pueda tener en la estratósfera es importante para el balance radiativo de la atmósfera, así como para la variabilidad en el comportamiento del ozono. Sobre nuestro país, al nivel de 46 hPa, se observó un incremento en la región central con valores entre 4.10 ppmv y 4.20 ppmv), mientras que en la región sur osciló entre 4.38 ppmv a 4.48 ppmv (mayor al mes de julio) para finalmente en la región norte, concentraciones entre 4.00 ppmv y 4.10 ppmv (superior al mes pasado). Cabe resaltar que concentraciones mayores, afectan grandemente el comportamiento espacial y temporal del ozono atmosférico sobre nuestras latitudes.
7. 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 los vientos zonales negativos, los cuales fueron muy intensos en la primera década del mes entre las capas de 70 hPa y 50 hPa.
8. 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, menores al mes pasado, especialmente en la región sur y parte de la región central, con valores que oscilaron entre 225 UD y 250 UD, durante la primera década del mes. En algunos momentos llegaron a registrarse valores de hasta 200 UD. Estos valores también afectaron a la región occidental de Bolivia. Los factores que determinaron el registro de estas concentraciones fueron del tipo térmico, humedad y



viento.

9. En lo que concierne al comportamiento del régimen térmico en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que, durante el mes de agosto, los valores se caracterizaron por un ligero incremento (-71.0°C), lo cual trajo como consecuencia un ligero incremento de las concentraciones de ozono en esta parte del continente a partir de la segunda quincena del mes. A pesar del aumento, aún estuvieron por debajo de sus valores climáticos.
10. Debido a que agosto es considerado como un mes donde el régimen térmico se incrementa (a nivel de baja estratósfera), los niveles de radiación solar se llegaron a incrementar debido a la baja concentración de ozono sobre nuestro país, permitiendo que los procesos físico-químicos en la estratósfera baja y media sean más dinámicos.
11. En cuanto 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 100 hPa y 70 hPa se ha registrado un ligero calentamiento, mientras que en las capas de 30 hPa y 15 hPa se registró una disminución, debido a factores de circulación atmosférica, generando una disminución en las concentraciones de ozono.
12. La presencia del periodo frío denominado Fenómeno La Niña Costera, ha permitido ingresos de advecciones frías, por lo menos en la región sur y central de nuestro país (aunque en el departamento de Tumbes se han registrado temperaturas de agua de mar por encima de sus valores normales), trayendo como consecuencia, en un contexto general, que las concentraciones de ozono tengan una ligera tendencia al incremento (baja persistencia de concentraciones de vapor de agua en dicha región). Mientras mayor concentración de humedad en la baja y media estratósfera, mayor es la disminución de la concentración de ozono y viceversa.
13. 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/cqZit9WHG7gLktbT6>

Próxima actualización: 15 de octubre 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:**