

Junio 2024
vol. 06

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



Introducción

La luz solar es energía radiante electromagnética, compuesta principalmente por el espectro de radiación ultravioleta, visible e infrarroja. La radiación ultravioleta tiene una longitud de onda más corta que la luz visible y puede producir quemaduras en la piel y otros efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente.

Afortunadamente para la vida en la tierra, existe la capa de ozono, como se conoce a la concentración máxima de ozono presente en la atmósfera superior (estratosfera) de manera natural. La capa de ozono filtra la mayor parte de la radiación ultravioleta proveniente del sol, especialmente la radiación ultravioleta B, dejando pasar la radiación ultravioleta A, necesarios para la vida en la tierra.

Lamentablemente, el hombre ha creado algunos productos químicos a base de carbono y halógenos (Cl, Br), conocidos como halocarbonos, que se han usado principalmente para la fabricación de refrigeradores, congeladores, sistemas de aire acondicionado, aerosoles y espumas sintéticas. Estos halocarbonos son sustancias agotadoras de ozono (SAO) y producen la destrucción y adelgazamiento de nuestra capa de ozono, que permite que la radiación ultravioleta B ingrese con mayor intensidad a la tierra y afecten la vida en el planeta.

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).



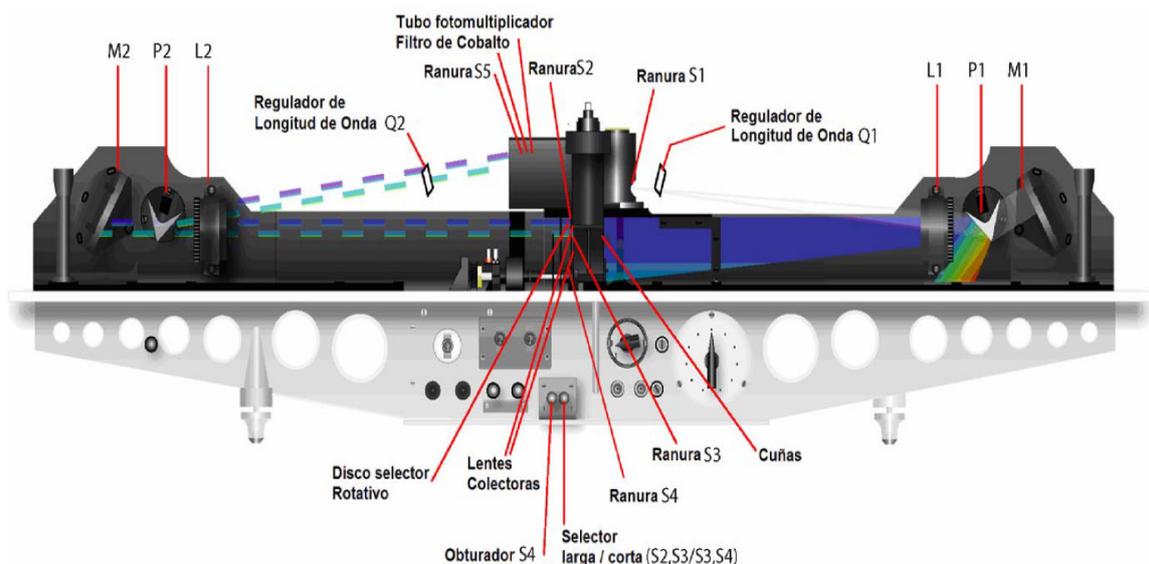
I.- CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

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.

Cabe mencionar que en el mes de junio la estratósfera baja de la región tropical ha presentado características térmicas al incremento, pero aun así 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 incremento con respecto al mes de mayo. Durante la primera quincena del mes, las temperaturas en el nivel de 100 hPa registraron un aumento, pero a partir de la segunda quincena, se mantuvieron estables (no aumentaron ni disminuyeron). Asimismo, en los niveles de 70 hPa y 50 hPa las temperaturas se incrementaron, pero, aun así, muy por debajo de sus valores normales. A lo largo del mes fue característico el registro de vientos zonales (sobre nuestras latitudes) así como la aparición de vientos del noreste (del hemisferio norte), los cuales aportaron moderadas concentraciones de ozono atmosférico trayendo como consecuencia una tendencia hacia el aumento a partir mayormente de la cuarta semana del mes. En el caso de la alta tropósfera, los sistemas atmosféricos que gobiernan el tiempo sobre nuestro país, se encuentran ubicados en el hemisferio norte debido al inicio de la estación astronómica de invierno. Los remanentes atmosféricos cálidos que aún se mantenían, han ido desapareciendo para dar paso en forma paulatina a condiciones entre lo normal a frías debido a la mayor invasión de masas de agua de mar frías provenientes del latitudes medias y altas del hemisferio austral. La convección húmeda mínima sólo quedó registrada en la región norte del país (específicamente departamento de Tumbes) debido a la invasión de masas de agua relativamente cálidas presentando alguna incidencia 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 humedad en la baja estratósfera llegan a tener repercusión en las propiedades físicas de dicha capa, permitiendo obtener valores de ozono atmosférico ligeramente superiores al mes anterior.

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 inicio 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 19 de junio) dado de que es representativa de la baja estratósfera. A lo largo del mes, climáticamente, las concentraciones de ozono presentan un comportamiento parecido al mes de mayo debido mayormente a la permanencia de flujos del este (abril, mayo y junio), los cuales en este mes registraron vientos del noreste, así como del norte, lo que en cierta manera no es muy común sobre nuestras latitudes, muy en específico sobre nuestro país. Muy a parte de estos flujos, también se apreciaron núcleos anticiclónicos, los cuales fueron muy variables, ya que por algunos días se presentaban en el Pacífico Sur, luego en Continente sudamericano y después en el Atlántico Sur, algunas veces indistintamente en cualquiera de estos lugares. El impacto que tuvieron estos sistemas fue la de permitir la permanencia de los flujos zonales negativos y en algunos momentos flujos del norte y noreste (los flujos últimos, permitieron un incremento de las concentraciones de ozono a partir de la segunda quincena del mes debido al ingreso de moderadas concentraciones de ozono sobre nuestro país.

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

En cuanto al régimen térmico podemos señalar lo siguiente: se ha observado nuevamente un comportamiento con tendencia al incremento por lo menos en niveles bajos de la estratósfera (100 hPa, 70 hPa y 50 hPa) y disminución en la estratósfera media y alta (30 hPa, 15 hPa, 5 hPa y 2 hPa), en el corredor de 20°N-20°S, pero aún con valores por debajo de sus valores climáticos (atmósfera más fría). Este incremento en niveles bajos podría estar relacionado con la disminución de la concentración de humedad (más adelante se detallará el proceso). En el caso de Perú, se debe remarcar que, de acuerdo a la información climática de superficie, las concentraciones de ozono en este mes han sido algo similares al mes pasado (a nivel promedio mensual), con una ligera tendencia a la disminución. Los valores máximos fueron superiores al mes de mayo en 2 UD aproximadamente, el cual responde, en cierta manera, a su comportamiento climático, reforzando lo ocurrido en la estratósfera baja (obtenido de Weather Service de la University of Wyoming), con la persistencia de los vientos zonales negativos durante el mes y con ingresos esporádicos de vientos del noreste y norte. 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 junio 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 233.1 UD y 248.0 UD (UD = Unidades Dobson), valores ligeramente superiores (valores máximos), mientras que a nivel promedio mensual ocurrió un ligero descenso.

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 junio, 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, 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 continuado mostrando un descenso debido al inicio de la estación de invierno. En algunas regiones se mantuvieron similares debido a condiciones netamente locales. La cantidad de aerosoles tiende a disminuir debido a la finalización del periodo lluvioso para dar paso a condiciones secas y con mucha transparencia atmosférica, principalmente en la región andina. Se espera que en el mes siguiente dichos valores de radiación, continúen disminuyendo en forma general.

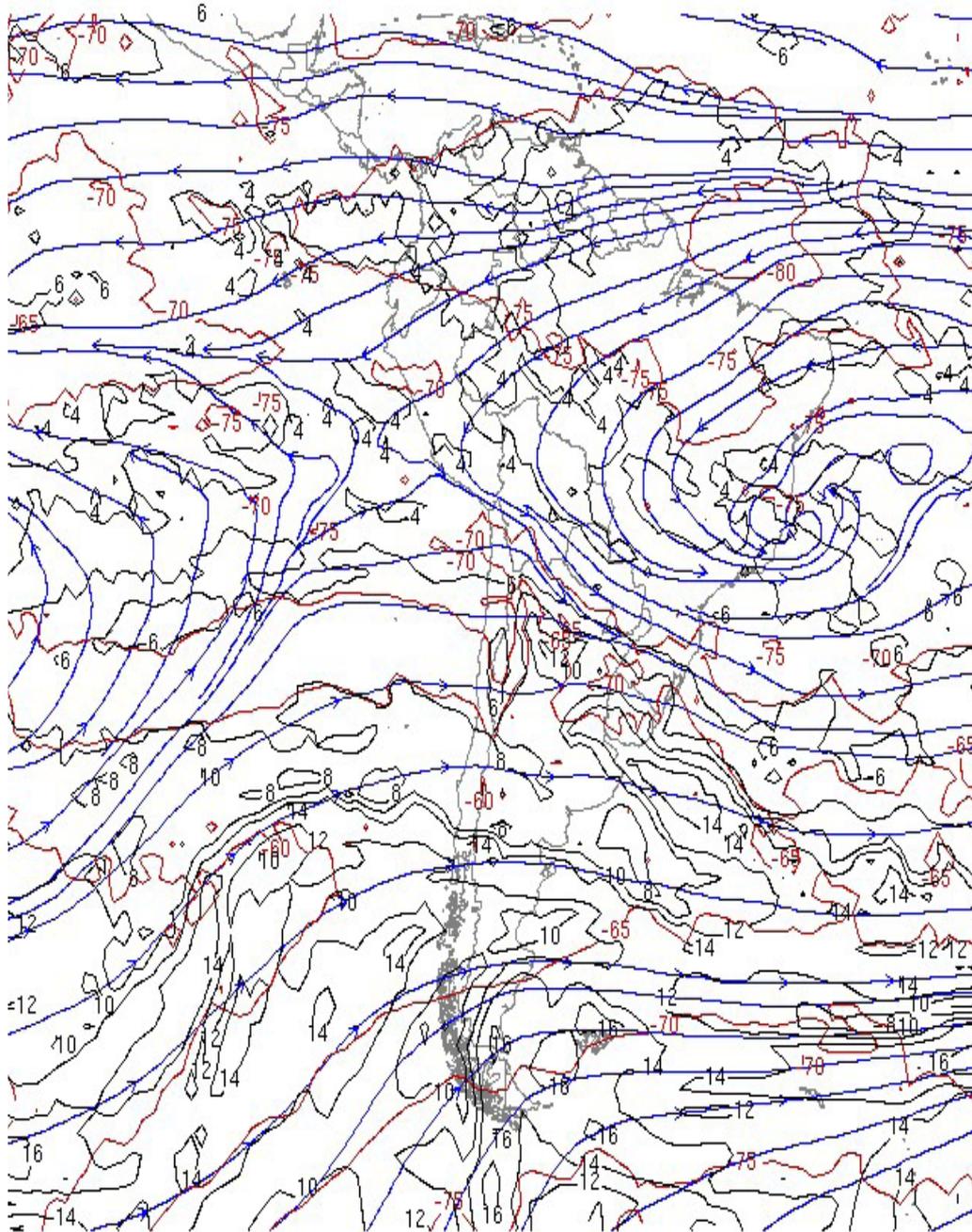


FIGURA N° 2

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 Wed 19 Jun 2024



El comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2021) del mes de junio oscila entre 237.3 UD y 242.2 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de junio del presente año, oscilaron entre 235.4 UD y 242.2 UD.

En la figura se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 70% por debajo de sus valores climáticos, mientras que un 30% por encima.

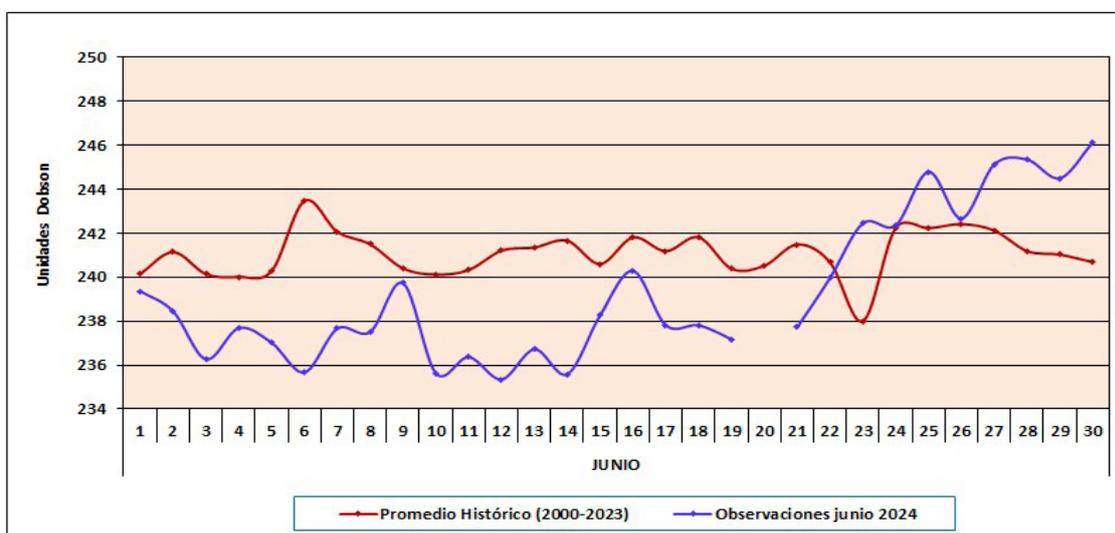
Durante gran parte del mes las concentraciones de ozono han estado por debajo de sus valores climáticos. Ahora bien, cuando se comparan ambas series se ha venido observando un comportamiento variable, con valores que en algunos momentos se acercan a sus normales (por ejemplo en la segunda década) y en otros más bien alejándose (a partir de la tercera década), lo cual podría atribuirse a los cambios en la circulación atmosférica (vientos 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 abril ha registrado valores ligeramente menores.

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 junio, en todas las capas de la estratósfera, las temperaturas se encuentran todavía por debajo de sus valores normales, aunque se debe remarcar que en la estratósfera baja las diferencias son mayores, probablemente debido a la moderada concentración de vapor de agua, especialmente sobre nuestras latitudes o también por cambios en la circulación atmosférica.



FIGURA N° 3

Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Junio 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 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 238.4 UD inferior en 1.0 UD al promedio mensual multianual (241.0 UD).

Se debe tener presente que, en la región tropical durante los meses del otoño austral, vale decir abril hasta junio, las concentraciones de ozono continúan disminuyendo hasta el mes de junio para luego a partir del mes de julio incrementar hasta el mes de setiembre, debido a la circulación de masas de aire al nivel de baja estratósfera, así como también por efectos térmicos y fotoquímicos. Asimismo, 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 junio, se ha continuado con la persistencia de masas de aire provenientes del este durante parte del mes,

para dar pase luego a vientos de noreste y norte, los cuales permitieron el aumento ligero de las concentraciones de ozono, no coincidiendo en parte, con la climatología de esta temporada.

Debido al término del periodo cálido, los procesos de advección húmeda han sido casi nulos en este mes, salvo lo ocurrido en el departamento de Tumbes, donde se registraron 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 motivo por el cual las concentraciones de ozono hayan disminuido. Ahora bien, a esto se le añade el flujo de vientos provenientes del noreste y norte, los cuales permiten, en cierta manera, equiparar los déficits de ozono.

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 66% de días del mes de junio 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 59% de días del mes estuvieron por debajo de lo registrado en superficie. Figura 4.

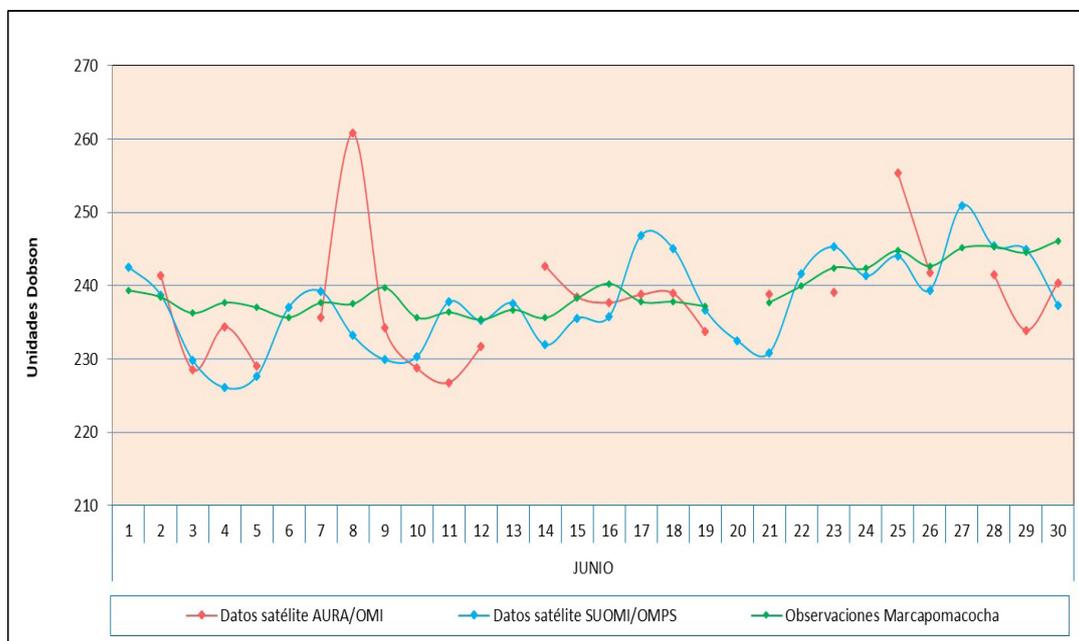
De este análisis podemos decir que la información proveniente de estos dos satélites es bastante menor a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson, cuando anteriormente eran superiores. Existen días donde las diferencias entre los valores registrados por el satélite y el medido en superficie, son bastante altas en el orden de 1 a 23 UD como producto del tipo o forma de medición que realiza el satélite.

Cabe mencionar, que la tendencia de las concentraciones de ozono medidos en superficie ha registrado una ligera disminución en el tiempo, pero con una tendencia al aumento durante los últimos diez días, mientras que los medidos con los satélites, muestran una tendencia al ascenso.

El pronóstico, de acuerdo a la climatología, es que las concentraciones de ozono empiecen a incrementarse a partir del mes de julio hasta los meses de setiembre y octubre 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.

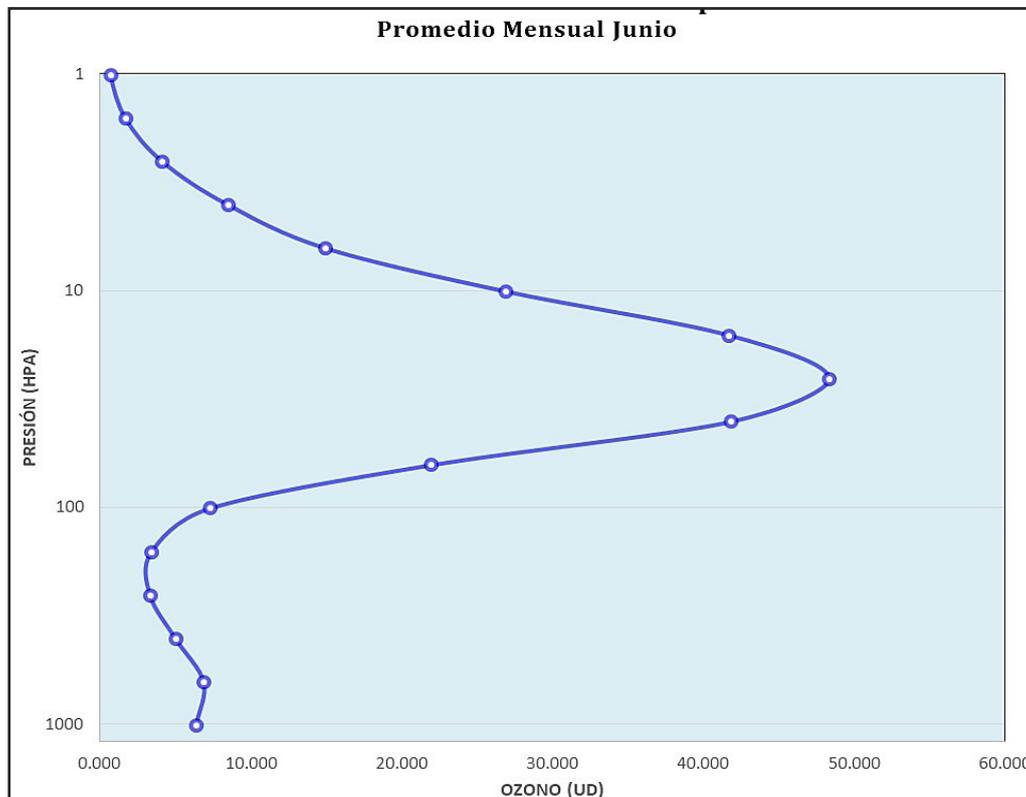
Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial), desde el año 2000 hasta el 2020 se han observado por medio de mediciones del perfil vertical de la atmósfera y el desarrollo de modelos numéricos, una disminución en las concentraciones de ozono (-2% por década) en la estratósfera baja de la

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 junio 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 41 UD a 48 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 junio (día 18) 2023 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra para el hemisferio norte concentraciones relativamente altas (continua tendencia a la disminución), cuyos valores han oscilado entre 23 UD y 28 UD (menores al mes pasado) entre la baja y media estratósfera (el área de cobertura latitudinal de estas concentraciones altas se dio entre 60N°-85°N). Cabe mencionar que, desde el 21 de junio, en dicho hemisferio, se inició la estación de verano, registrándose concentraciones relativamente moderadas de ozono en latitudes bajas con tendencia a incrementarse, debido a la baja humedad atmosférica, así como a la influencia de los vientos quasi meridionales sobre nuestras latitudes. Por otro lado, el régimen de temperatura empieza a incrementarse paulatinamente (pero siempre por debajo de sus valores normales), en la estratósfera baja, así como en la estratósfera media baja, mientras que, a partir de la estratósfera media alta hasta toda la estratósfera alta, el régimen de temperaturas se comportó con una tendencia a la disminución.

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 (10 UD a 22 UD) en latitudes bajas del hemisferio norte fue de 60 hPa y 8 hPa, mientras que en latitudes bajas del hemisferio sur (23 UD a 13 UD) la altura fue también de 60 hPa y 8 hPa. En latitudes medias del hemisferio sur también se registraron concentraciones relativamente moderadas con valores entre 20 UD y 28 UD, pero a una altura entre 120 hPa y 13 hPa.

En esta temporada, las concentraciones de ozono, por lo menos en esta parte de la región tropical, han registrado un ligero decrecimiento, por factores de circulación de vientos, así como por efecto de las 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 moderadas se han registrado entre los 60 hPa y 8 hPa con valores entre 13 UD y 25 UD.



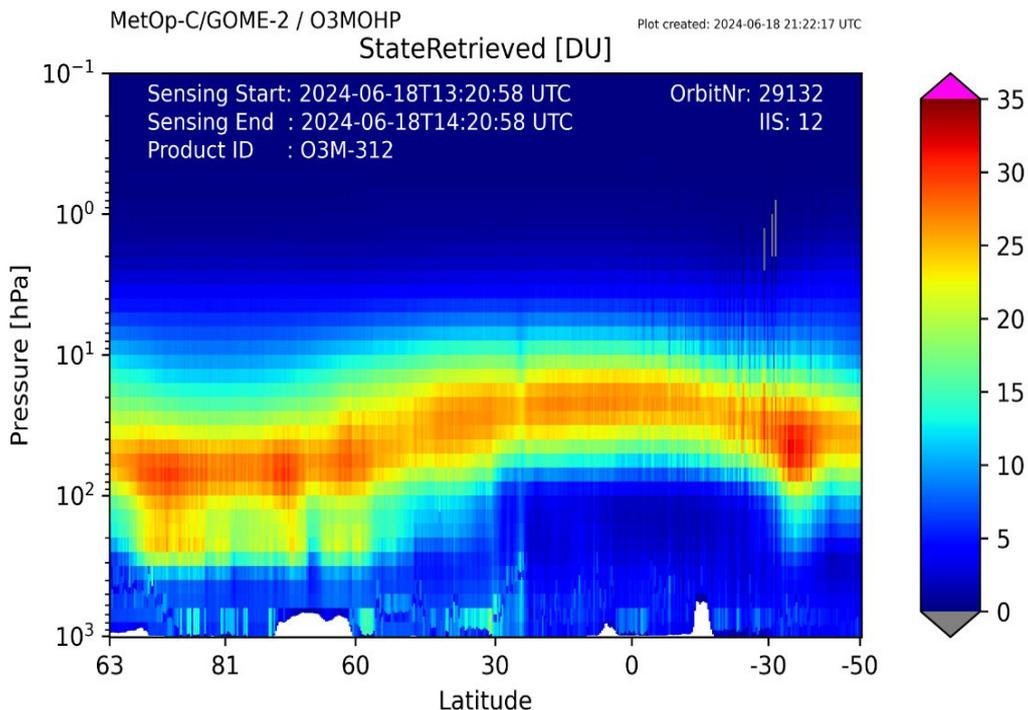
En los primeros niveles de la atmósfera (tropósfera) si bien es cierto que las concentraciones de ozono son bajas (oscilan, generalmente, entre 1 UD y 10 UD), esto se debe a los efectos residuales de la formación del ozono del día anterior, así como también a otros procesos físico-químicos. En la estación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

Cabe mencionar que, por el momento, en el hemisferio norte no se tiene presencia de algún tipo de vórtice polar, debido a la topografía de esa región que no permite la formación de dicho sistema y por lo tanto permite el registro de mayores concentraciones de ozono comparados al hemisferio sur. Es importante indicar que, desde fines de mes dicho hemisferio se encuentra en la estación de verano, 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.

Hay que recalcar que a nivel global se viene disipando el 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 más bien las condiciones atmosféricas son cada vez más frías debido a factores meteorológicos (Anticiclón del Pacífico Sur) como oceanográficos (temperatura de agua de mar).

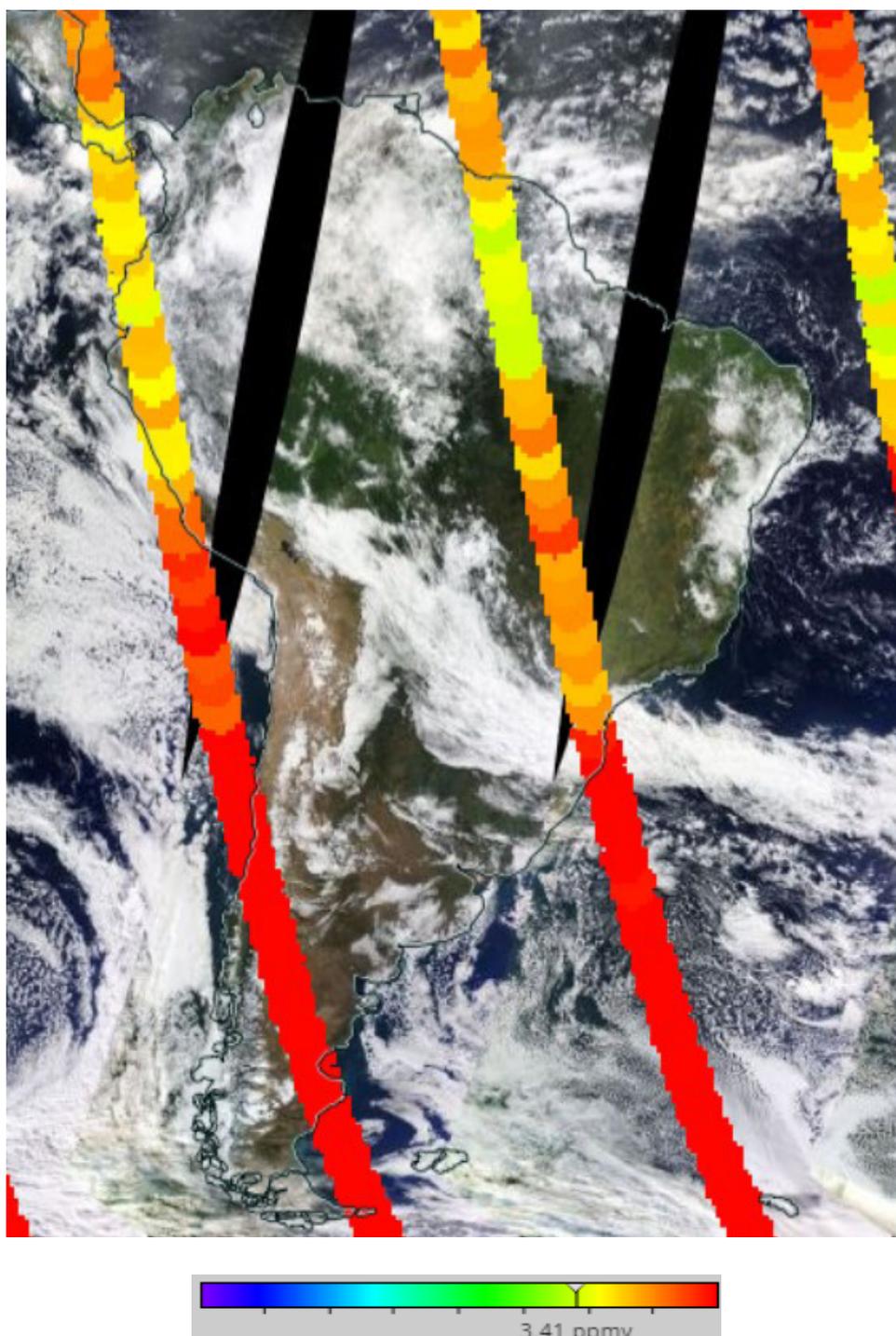
En la figura 8 se observa un mapa con concentraciones de vapor de agua a nivel de 46 hPa (límite entre la estratósfera baja y media) para un día típico del mes (15 junio 2024), obtenida de la Earth Data de la National Aeronautics Space Administration - NASA. En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua relativamente bajas. Por ejemplo, en el sur del país las concentraciones oscilaron entre 3.70 ppmv a 3.41 ppmv, mientras que en la sierra central valores entre 3.55 ppmv y 3.75 ppmv. En el lado de la región andina norte, concentraciones entre 3.48 ppmv y 3.54 ppmv. En la región de la costa norte se registraron concentraciones de vapor de agua entre 3.18 ppmv y 3.50 ppmv, mientras que en el centro entre 3.24 ppmv y 3.50 ppmv. Estas



condiciones aunadas a los de circulación en ese nivel estarían permitiendo un ligero incremento en 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.

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 junio fue de 18%, mientras que a nivel de 70 hPa fue de 8%, 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 disminuyó con respecto al mes pasado lo cual tiene injerencia con las concentraciones de ozono que se registran en esta parte del país.

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 ligeramente mayores a lo registrado en el mes de mayo, debido a la ocurrencia esporádica de vientos provenientes del noreste y norte, así como por una baja concentración de humedad. Por el lado del Pacífico mayormente se registraron concentraciones de ozonos bajos y altos, con valores entre 225 UD y 275 UD.

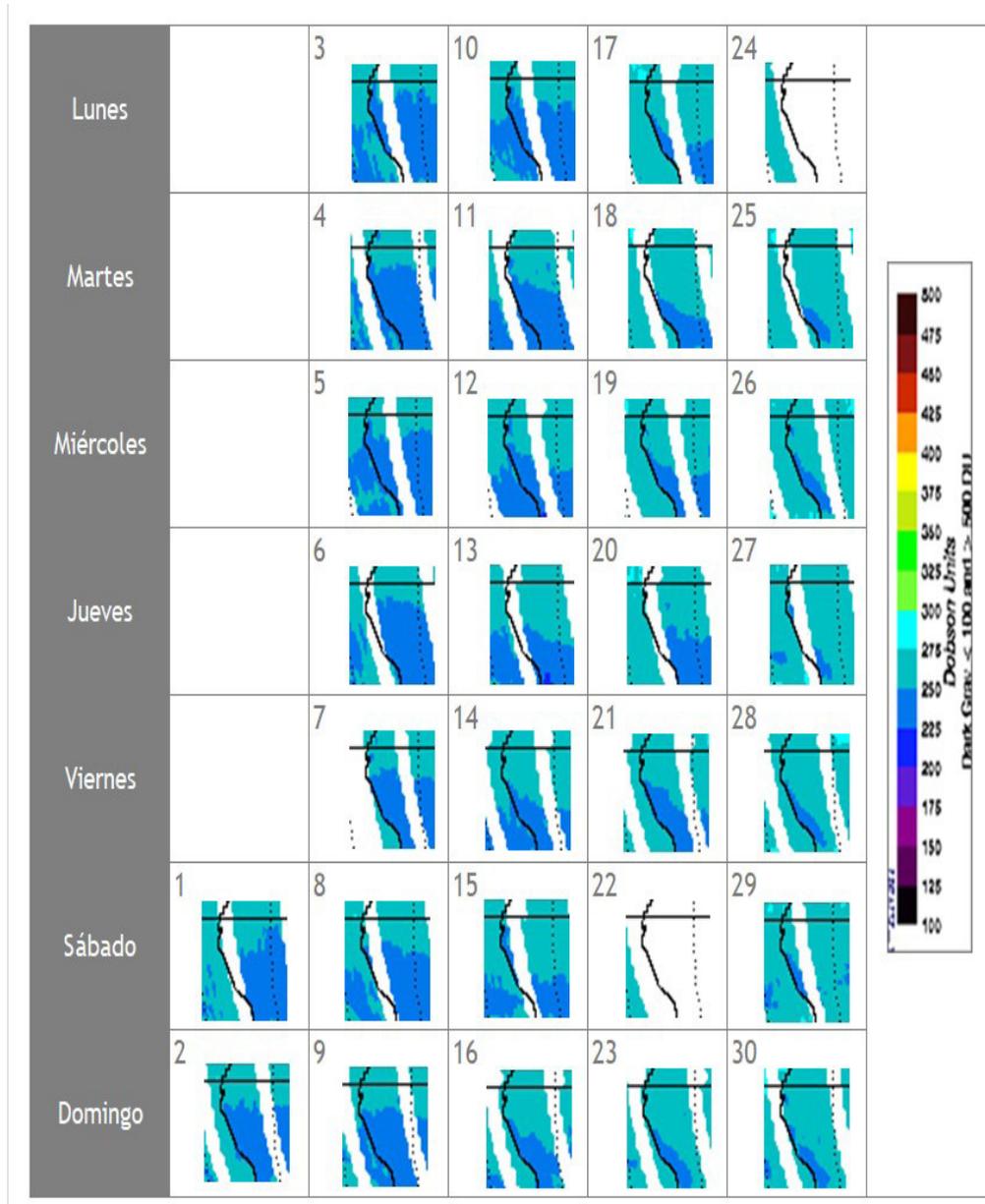
En todo el mes, sobre gran parte de nuestro país (cubriendo mayor área que el mes pasado), las concentraciones de ozono oscilaron entre 250 UD y 275 UD.

Cabe remarcar que entre los días 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 y 10 de junio se registraron concentraciones bajas de ozono (225 UD y 250 UD) que abarcaron gran parte del país (con excepción de la zona norte). Por otro lado, durante los días 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20 y 21 el área de esas concentraciones bajas disminuyó, abarcando la región sur y parte de la región central, mientras que, desde el 22 hasta 30 de junio, dichas concentraciones abarcaron solo la costa peruana. En las otras regiones no mencionadas, las concentraciones fueron superiores con valores que oscilaron entre 250 UD y 275 UD.

En este mes, se registraron esporádicos ingresos de masas de aire del noreste y norte, los cuales permitieron un ligero incremento de las concentraciones

de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes, especialmente en los últimos días del mes. Es preciso señalar que junio al igual que mayo, son los meses donde climatológicamente se registran las concentraciones más bajas de ozono sobre nuestro país, los cuales se traducen todavía en altos a bajos 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 junio 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 junio 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 junio al nivel de 100 hPa fue mayormente del oeste, noroeste y suroeste, influenciados aún por el flujo de 200 hPa, con intensidades que oscilaron entre 6 m/s y 13 m/s con una persistencia de 76%. Asimismo, se registraron vientos del norte, noreste, sureste y sur con una persistencia de 24% y con una velocidad entre 2 m/s y 8 m/s. Cabe recalcar que climáticamente los flujos de viento en este nivel son mayormente del oeste.

A nivel de 70 hPa los flujos de viento fueron mayormente del norte, noreste y este con velocidades que oscilaron entre 6.0 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 7 m/s.

En el nivel de 50 hPa el flujo de viento fue casi en su totalidad del este con una persistencia del 73% con velocidades entre 6 m/s y 17 m/s.

MEDIA ESTRATÓSFERA

En el nivel de 30 hPa el flujo de viento fue bastante variable donde se podría decir que los flujos del este y noreste fueron los que, en cierta manera, predominaron con una persistencia de 36% con velocidades que oscilaron entre 4 m/s y 11 m/s, mientras que en otras direcciones la persistencia fue de 64% cuyas velocidades oscilaron entre 1 m/s y 8 m/s.

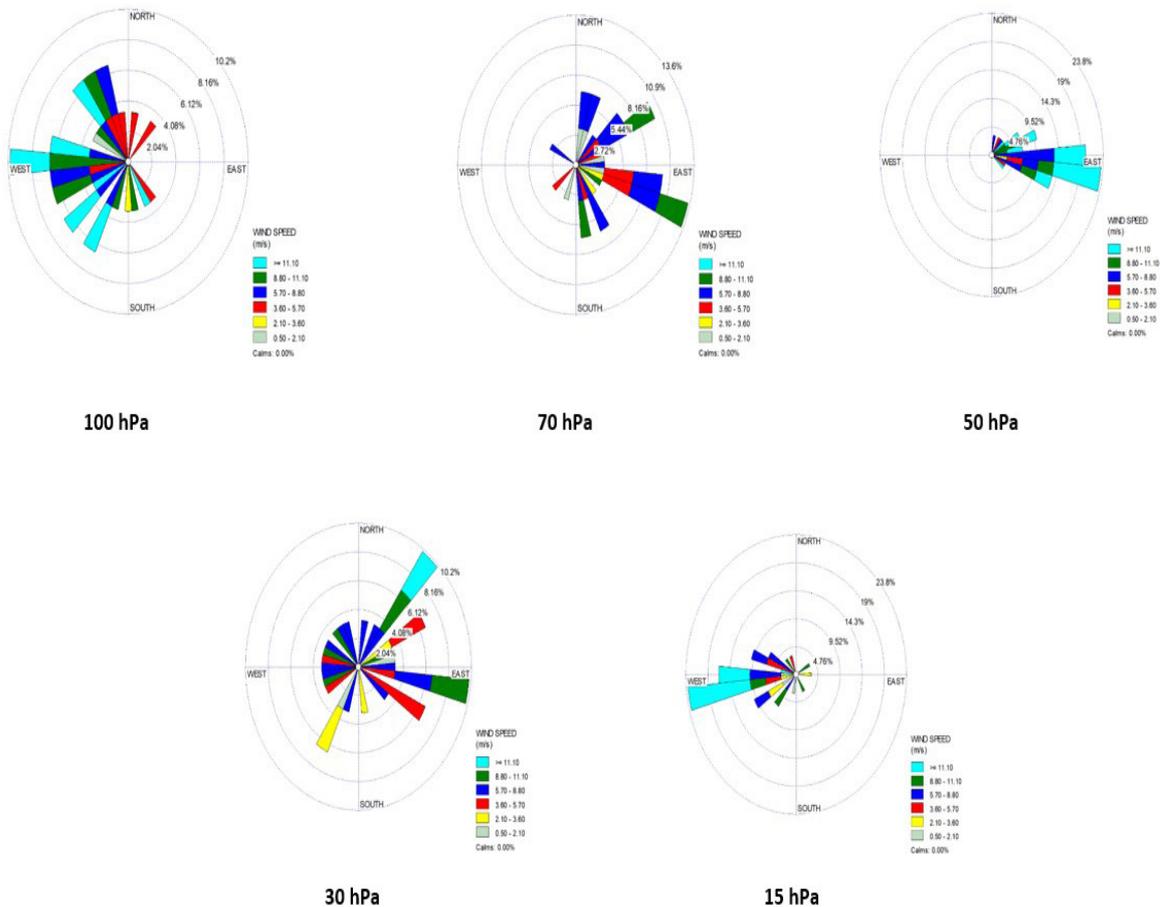
Finalmente, en el nivel de 15 hPa los flujos fueron mayormente del oeste, con velocidades que oscilaron entre 6 m/s y 14 m/s con una persistencia de 67%, mientras que en otras direcciones la persistencia fue de 33% con vientos que

superaron los 2.0 m/s.

Realizando una síntesis de este análisis, se podrá observar que los vientos provenientes del este son los más frecuentes tanto en la baja como en la media estratósfera (70 hPa, 50 hPa y 30 hPa), pero al mismo tiempo se registraron vientos del norte y noreste los cuales permitieron el ingreso de masas de aire con contenido de ozono, hacia nuestras latitudes, teniéndose mucha incidencia sobre nuestro país. Por otro lado, la baja humedad atmosférica ha sumado para un ligero incremento 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 junio 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 junio 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), si bien es cierto ha mostrado un ascenso, pero aun continua por debajo de sus valores normales (línea de color amarillo), incluso por debajo de sus mínimos extremos (pero cada vez acercándose a sus normales), permitiendo una concentración relativamente baja de ozono atmosférico. A pesar del comportamiento térmico del aire en ese nivel, las concentraciones de ozono lograron registrar valores ligeramente mayores a nivel diario, con una tendencia a continuar aumentando hasta el mes de setiembre-octubre. Se debe remarcar que, durante el mes de junio, las temperaturas, observadas en las capas bajas de la estratósfera continuaron persistiendo por debajo de sus valores normales, pero con tendencia a un ligero incremento, mientras que, en la estratósfera alta, el régimen térmico tuvo un comportamiento al descenso, pero al igual que las dos capas anteriores, todavía por debajo de sus normales.

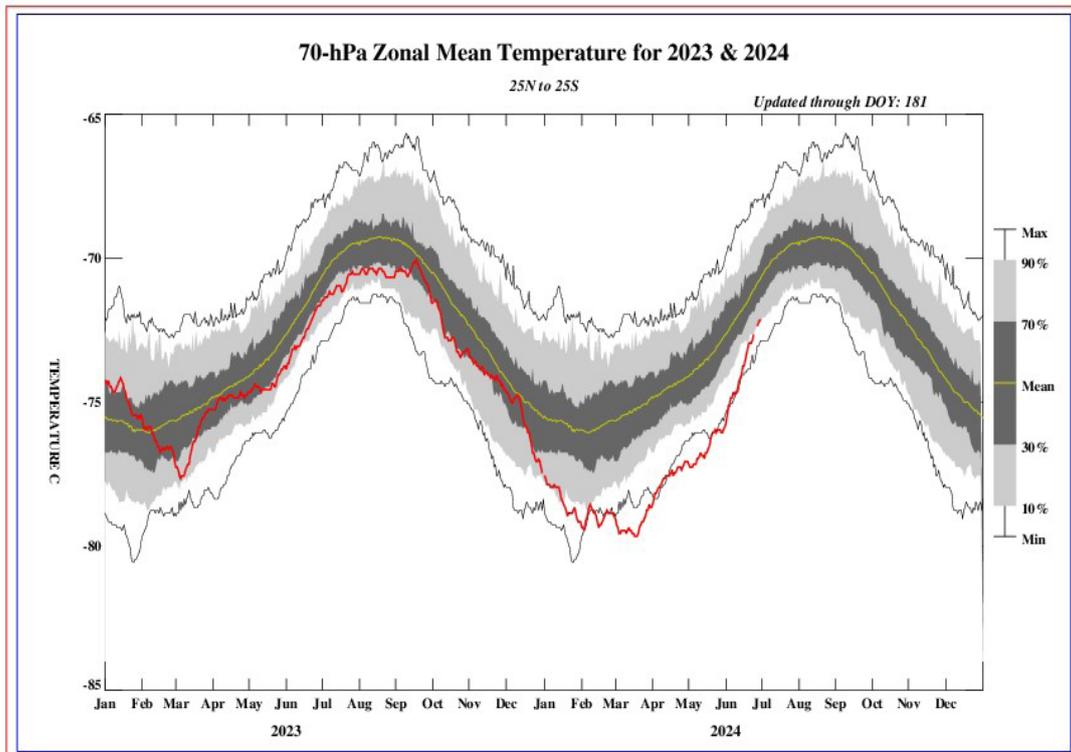
La variabilidad de la concentración de ozono en el nivel de 70 hPa, asociado a los cambios en la temperatura es una consecuencia del movimiento de traslación de la tierra con respecto al sol, así como a procesos de transferencia radiativa y reacciones fotoquímicas. Se suma también, el proceso de la circulación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



Hunga Tonga en enero del 2022, ya que permite enfriar la atmósfera en ese nivel afectando las concentraciones de ozono atmosférico. Hay que destacar el impacto que tiene la emisión de sustancias agotadoras de ozono (elementos 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 causas, valga la redundancia, físicas y químicas. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel y para este mes es de -73.0°C , menor en valor numérico al mes pasado, pero físicamente “más cálido”. La temperatura calculada en este mes, fue de -75.5°C .

Debe recordarse que, durante el año, climáticamente se presentan dos mínimos de ozono, uno en el mes de enero y el otro entre los meses de mayo y junio (tal como se ha descrito en párrafos anteriores). En el presente mes, como ya anteriormente se ha mencionado, el promedio mensual registrado en superficie fue de 239.4 UD, menor al mes anterior.

FIGURA N° 10
Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de junio 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 -76.7°C , mientras que a nivel de 70 hPa fue de -75.0°C , valores relativamente cercanos con solo una diferencia entre ellas, de solo 1.7°C . Cabe mencionar que entre las dos capas existe aproximadamente una distancia de 2 km permitiendo que haya una estrecha relación entre el límite de la alta tropósfera y la baja estratósfera en cuanto a intercambio de energía, especialmente en esta parte de la región tropical. Ver Figura 11.

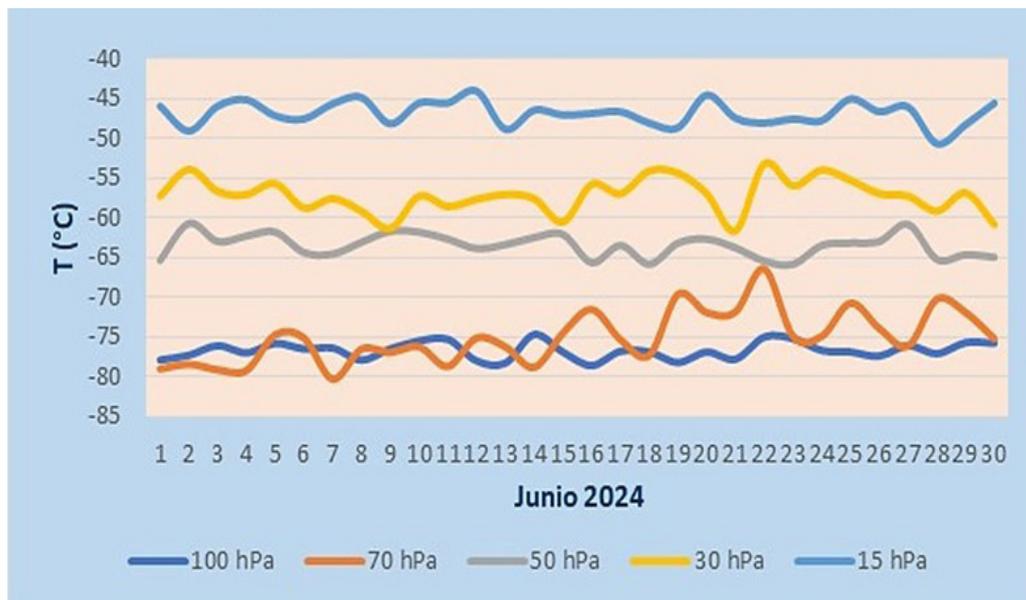
A nivel de 50 hPa, la diferencia es más notoria con una temperatura promedio del mes de -63.4°C .

En la media estratósfera, a 30 hPa, la temperatura promedio registrada fue de -57.1°C para finalmente, a 15 hPa, la temperatura fuera de -46.8°C .

Asimismo, la temperatura a nivel de 70 hPa obtenida por la NOAA (-75.5°C) y la obtenida por un equipo de altura (-75.0°C), fueron bastante cercanos, concluyéndose que a esas temperaturas las concentraciones de ozono se incrementaron ligeramente debido a un incremento en la temperatura.

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

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 junio, es mostrado en la Figura 12 (University of Wyoming) en donde se aprecia que las temperaturas, específicamente, en el continente Antártico han registrado un valor promedio de -80°C , debido a condiciones astronómicas (inicio del invierno) y meteorológicas (formación del vórtice polar). Las temperaturas en dicho continente paulatinamente continuarán mostrando un descenso debido al mayor establecimiento de la estación astronómica de invierno.

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.

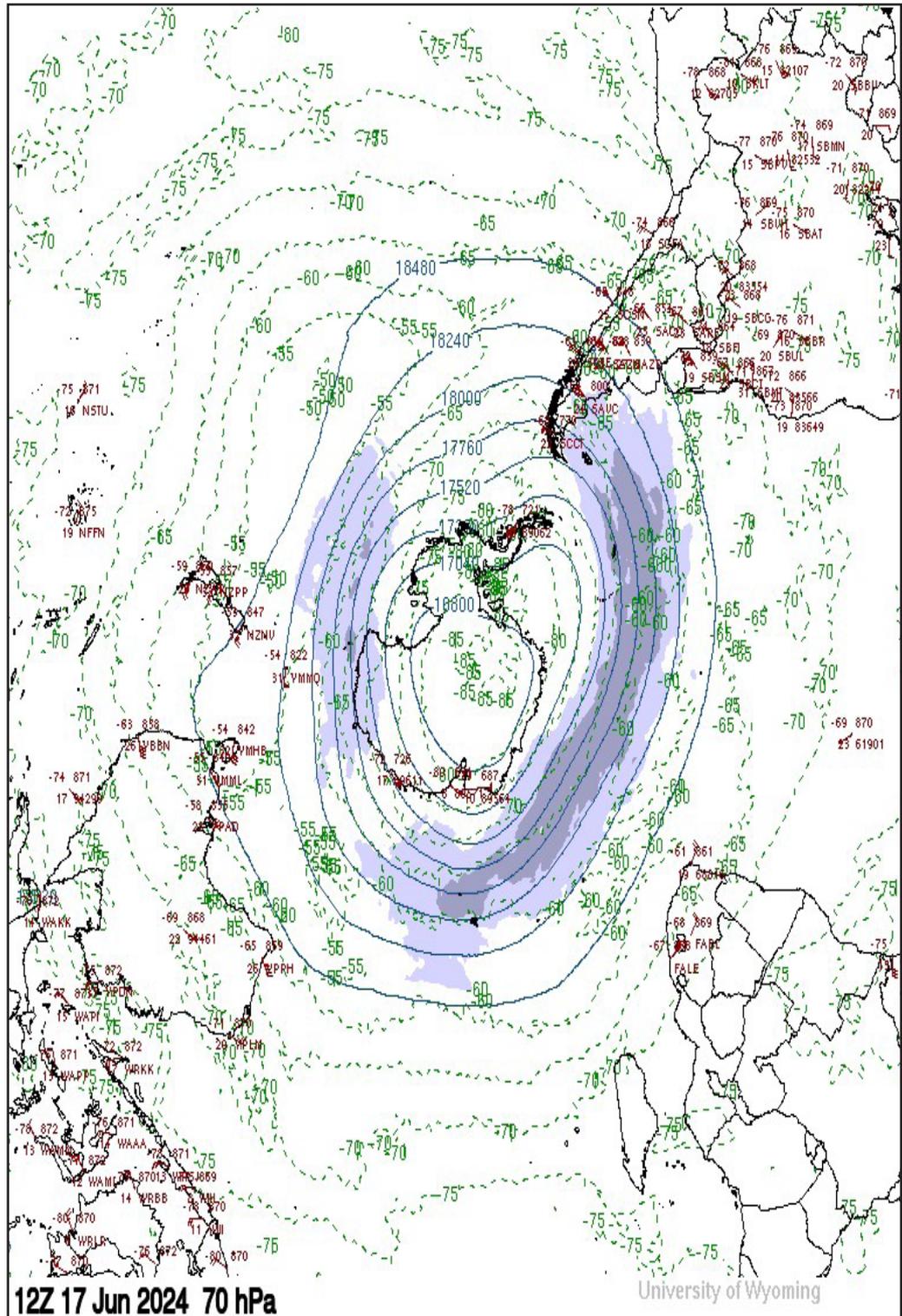
En latitudes bajas ($20^{\circ}\text{N} - 20^{\circ}\text{S}$), las temperaturas en este mes, en la atmósfera alta (baja estratósfera), como se ha mencionado anteriormente, han continuado registrando valores muy por debajo de sus normales climáticas, hasta por fuera de sus mínimos extremos, lo cual tiene injerencia en los procesos de transferencia radiativa.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel han registrado un valor de -75°C (mayor al mes pasado, más “cálido”), siendo uno de los factores para que las concentraciones de ozono atmosférico hayan presentado una ligera tendencia al ascenso especialmente los últimos días del mes, debido a circulaciones de viento zonales, así como a vientos provenientes del noreste y norte permitiendo un moderado aporte de ozono atmosférico sobre nuestras latitudes



FIGURA N° 12

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (17 junio 2024)



Fuente: Universidad de Wyoming

III.-CONCLUSIONES

1. El mes de junio se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono sobre nuestro país (los medidos en superficie) son similares al mes de mayo, pero al mismo tiempo presentan los valores de ozono más bajos de todo el año. El valor registrado fue de 239.4 UD como valor promedio. Este valor es menor a lo obtenido el mes pasado y permite concluir que las concentraciones de ozono durante gran parte del mes fueron bajas debido a la continua persistencia de los vientos zonales negativos, así como a la concentración de vapor de agua y una baja humedad relativa, especialmente en las capas de 100 hPa y 70 hPa, especialmente en la sierra central. Cabe mencionar que durante la última semana se registró un incremento en las concentraciones de ozono debido a vientos provenientes del noreste y norte.
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 235.4 UD a 246.1 UD, límite inferior, más bajo que el mes anterior y límite superior más alto. Esta variabilidad, ha sido explicado por el párrafo anterior, pero también se le suma a ello, el efecto de la relación de mezcla de ozono, el cual ha sido relativamente baja. A ello hay que sumarle la declinación total del periodo cálido a nivel global denominado Fenómeno El Niño Costero, así como a la lenta desaparición de las advecciones húmedas, en nuestra región, el cual repercute en la circulación de los vientos, así como en la transferencia radiativa.
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 junio, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical del hemisferio sur, se registró entre los 60 hPa y los 8 hPa (baja y media estratósfera) con valores que oscilaron entre 15 UD y 25 UD (ligeramente mayor al mes anterior), mientras que en latitudes medias del hemisferio sur, la altura de las máximas concentraciones se dio entre los 120 hPa y 13 hPa con valores entre 20 UD y 28 UD. La variabilidad en las concentraciones de ozono de un mes a otro está influenciada principalmente por la circulación de los vientos, así como por factores descritos en los puntos 1 y 2.
4. El registro de concentraciones de ozono atmosférico en latitudes medias y altas del hemisferio norte, fueron menores al mes pasado con valores entre 23 UD a 28 UD, entre la alta tropósfera y media estratósfera. Aún



continúan los procesos físicos de buena mezcla de ozono de latitudes medias a altas los cuales permiten la persistencia de la misma, aunados al impacto que ejerce la circulación Brewer-Dobson en esta parte del hemisferio. Hay que remarcar que la tendencia es a la disminución de las concentraciones de ozono debido al inicio de la estación de verano.

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 concentraciones relativamente bajas en la sierra central (valores entre 3.70 ppmv y 3.90 ppmv), mientras que en la sierra sur osciló entre 3.55 ppmv a 3.75 ppmv (menor al mes de mayo) para finalmente en la sierra norte, concentraciones entre 3.48 ppmv y 3.54 ppmv (también menor al mes pasado). Cabe resaltar que concentraciones mayores, afectan grandemente el comportamiento espacial y temporal del ozono atmosférico sobre nuestras latitudes.
6. De acuerdo a la información real de viento obtenida para las diferentes capas de la estratósfera baja y media se concluye que uno de los factores que permite la disminución de las concentraciones de ozono sobre nuestras latitudes, específicamente sobre nuestro país, son los vientos provenientes del este, los cuales predominaron durante el mes de junio, pero resulta que en la última semana del mes se registraron vientos del norte y noreste transportando moderadas concentraciones de ozono permitiendo un ligero incremento.
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, mayores al mes pasado, especialmente en la región norte, centro y oriente del país, con valores que oscilaron entre 250 UD y 275 UD, durante las dos terceras partes del mes, debido a un incremento en las temperaturas a nivel de estratósfera baja, así como a los vientos descritos en la conclusión anterior.
8. En lo que concierne al comportamiento del régimen térmico en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que, durante el mes de junio, los valores se caracterizaron por un ligero incremento (-75.0°C), lo cual trajo como consecuencia un ligero incremento de las concentraciones de ozono en esta parte del continente, especialmente a partir de la cuarta semana del mes.
9. Debido a que junio es considerado como un mes donde el régimen



térmico continua disminuyendo, los niveles de radiación solar también empiezan a descender debido a factores netamente astronómicos y atmosféricos, lo cual trae como consecuencia, que los procesos físicos-químicos especialmente en la estratósfera baja y media sean cada vez menos dinámicos, permitiendo que se presenten circulaciones de vientos en latitudes bajas mayormente entre zonales y meridionales, afectando el aporte de ozono atmosférico hacia nuestro país. Todo lo mencionado se acentúa con el inicio de la estación del invierno austral.

10. El 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), permiten concluir que existe un acoplamiento de la alta tropósfera y baja estratósfera el cual, modula dicho régimen, por lo menos entre los 200 hPa, 100 hPa, 70 hPa y 50 hPa generando un incremento del ozono. Por encima de los 30 hPa hasta toda la media estratósfera las temperaturas continúan descendiendo, permitiendo la disminución de las concentraciones de ozono atmosférico en nuestras latitudes.
11. La declinación del periodo cálido denominado Fenómeno El Niño Costero, ha permitido el descenso de las advecciones húmedas, por lo menos en la región norte 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 (persistencia de concentraciones de vapor de agua). Cabe remarcar que mientras mayor concentración de humedad en la baja y media estratósfera, mayor es la disminución de la concentración de ozono y viceversa
12. Se requiere disponer de información real de la concentración de ozono total a nivel del perfil vertical de la atmósfera a fin de realizar el contraste respectivo con lo obtenido por los satélites y determinar la desviación respectiva. En los periodos donde no se tenga información real, se podría utilizar el brindado por los satélites aplicando ciertos algoritmos de cálculo.



Dirección de Meteorología y evaluación Ambiental Atmosférica:

Ing. 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 agosto 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:**