

Enero 2023
vol. 01

**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.

Dada las últimas proyecciones por organismos científicos internacionales, se viene concluyendo, en forma general, que existe una ligera recuperación del ozono en el mundo.

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).



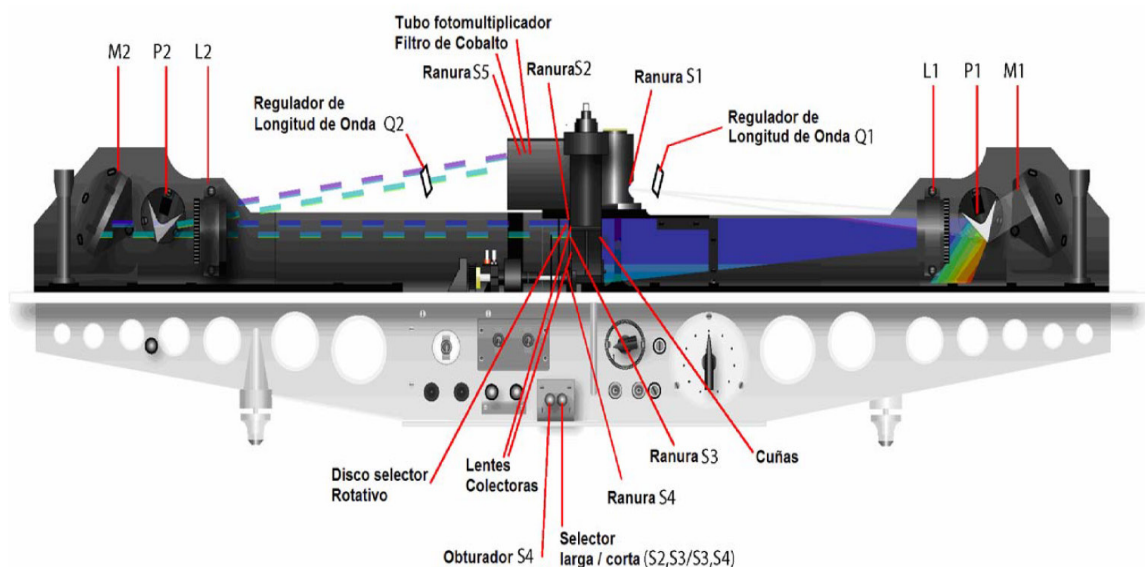
I.- CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFÉRICO Y FUNCIONAMIENTO DEL ESPECTROFOTÓMETRO DOBSON

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 el mes de enero ha continuado presentando características térmicas cada vez mayores (cálidas), en comparación al mes pasado, debido a condiciones de circulación atmosférica en el hemisferio austral así como a factores de transferencia radiativa, como producto del establecimiento de la estación astronómica de verano. Los sistemas atmosféricos, a nivel de alta tropósfera, que gobiernan el tiempo sobre nuestro país, como la Alta de Bolivia y la Zona de Convergencia Intertropical, se van estableciendo para dar paso a fenómenos como las tormentas eléctricas y precipitaciones, principalmente en la región andina y selva. Algunos de estos procesos pueden tener incidencia en las propiedades físicas de la baja estratósfera.

Un parámetro que conviene resaltar y que influye en la 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, 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 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 viento así como la estacionalidad interactúan entre sí en las diferentes capas de la atmósfera. Siendo así, se analiza la capa de 70 hPa dado de que es representativa de la baja estratósfera. En ella se ha podido observar, según el Modelo GFS, la presencia de flujos de aire con ciertas características predominantes, Los flujos de viento presentaron características zonales (vientos del este), manteniéndose a lo largo del mes. En esta ocasión, los flujos de vientos meridionales y quasi meridionales (flujos provenientes del noreste), han sido menos notorios. Durante el mes se han presentado sistemas anticiclónicos sobre América del Sur tanto en el Pacífico como en el Atlántico permitiendo un mayor flujo de los vientos de este hacia nuestro país, los cuales tienen escaso aporte de ozono atmosférico. Cuando estos sistemas se presentan con mayor continuidad y cercanos a la línea ecuatorial, desplazan masas de aire hacia otras regiones, trayendo como consecuencia una disminución en las concentraciones de ozono. Figura 2.

Con el fin de reforzar lo descrito a nivel de baja estratósfera, podemos mencionar que de la vigilancia realizada en el mes de enero a nivel de superficie, en el OVA Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario de la concentración de ozono atmosférico en general, estuvo oscilando entre 238.3 UD y 247.0 UD (UD = Unidades Dobson), valores por debajo a lo registrado en el mes anterior.

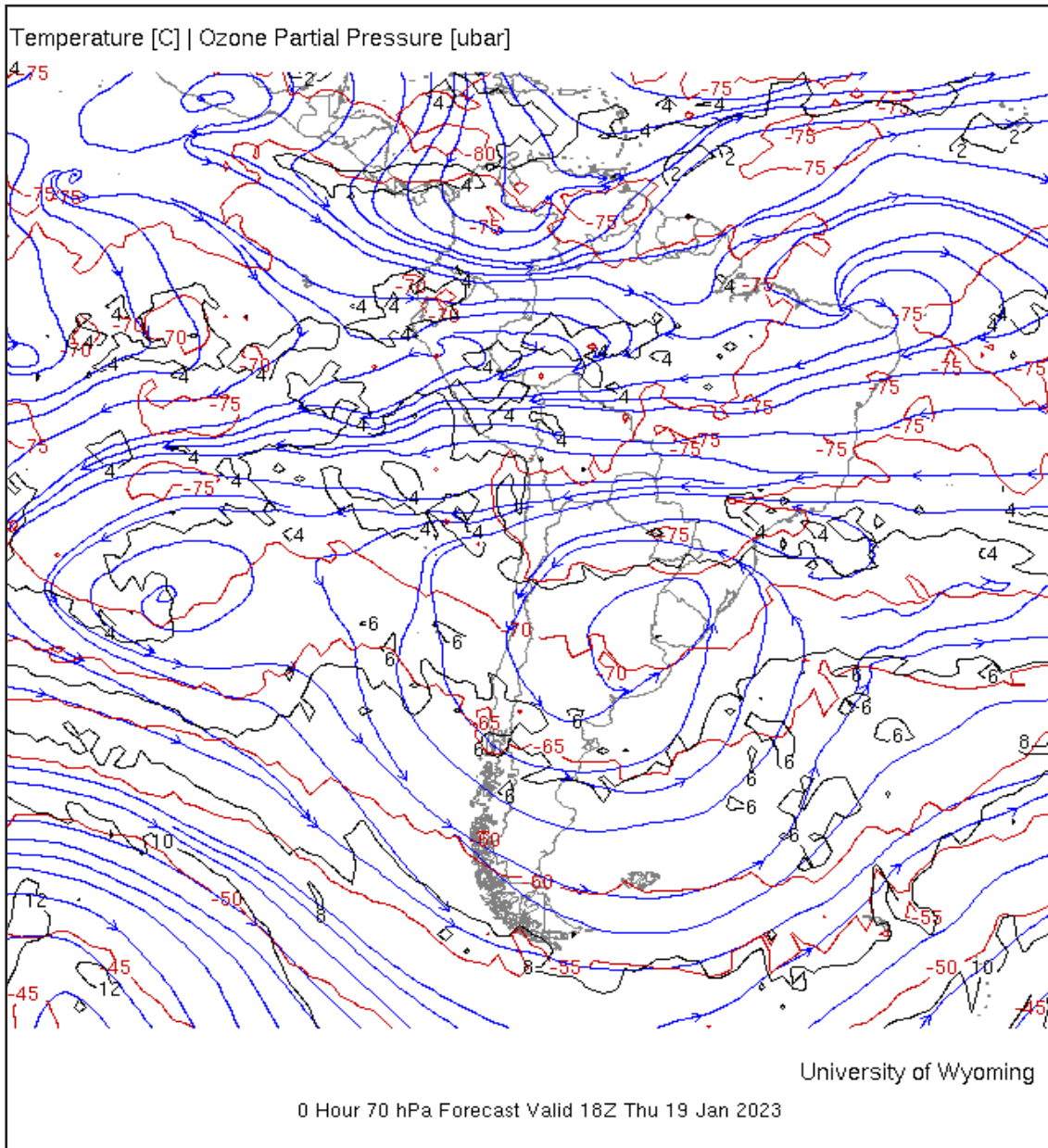
Se debe mencionar que en las primeras horas del día las concentraciones de ozono son relativamente altas debido a la nula actividad fotoquímica durante la noche y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía los valores empiezan a disminuir para luego en horas de la tarde volver a incrementarse. 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 mañanas la incidencia de la radiación ultravioleta es baja, por ende las concentraciones de ozono son relativamente altas (debido al ozono residual), a medida que la intensidad de la radiación ultravioleta se incrementa en forma paulatina hacia el mediodía, donde los valores son altos (en los meses de primavera y verano son mayores), 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 (efectos residuales de ozono del día anterior a nivel de tropósfera) 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 incrementándose con respecto al mes anterior, en ese sentido las reacciones fotoquímicas han sido mayores.



FIGURA N° 2

Flujos de masas de aire del este



Por otro lado, el comportamiento de la concentración de ozono atmosférico promedio diario mensual multianual (2000-2020) del mes de enero oscila entre 238.4 UD y 246.8 UD aproximadamente (Figura 3), mientras que los medidos en el mes de enero del presente año, oscilaron entre 239.9 UD y 245.2 UD. En la figura se aprecia que los valores registrados en el presente mes, estuvieron un 39% por debajo de sus valores climáticos.

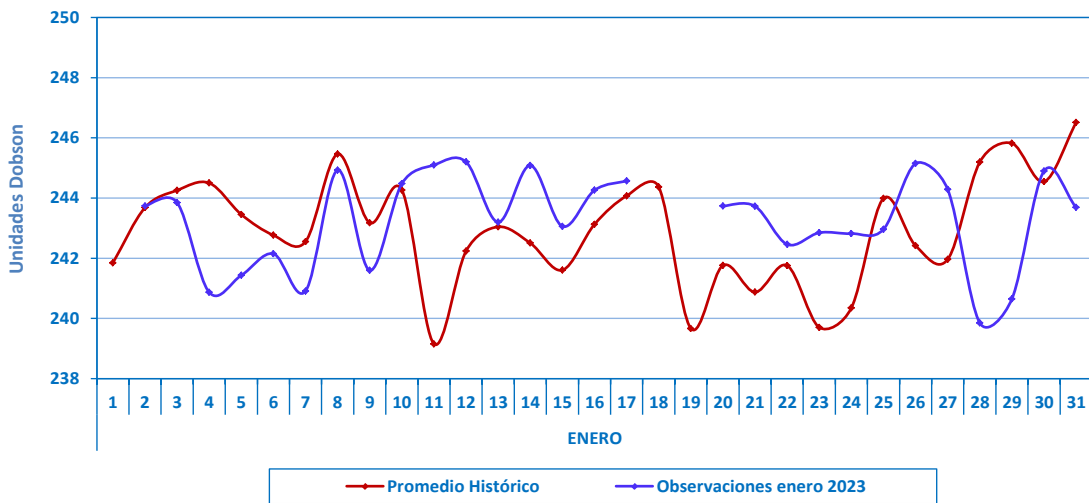
Cuando se comparan ambas series se ha observado un comportamiento variable, con valores que en algunos momentos se acercan a sus normales y en otros más bien alejándose, lo cual puede atribuirse a las diferentes

tendencias y procesos que contribuyen a la columna total. La tendencia de las concentraciones de ozono sobre nuestro país, con respecto al mes de diciembre fue a una disminución a lo largo del mes, debido a factores térmicos en niveles altos así como a la circulación del aire. Cabe mencionar que durante el mes de enero, al igual que el mes pasado, se registraron flujos mayormente zonales, así como también la presencia de sistemas anticiclónicos, los cuales influenciaron en el registro continuo de bajas concentraciones de ozono sobre nuestro país.

En la estratósfera, la temperatura y las concentraciones de ozono van de la mano, de acuerdo a ello, se podría pensar que, en niveles bajos de esta capa, el régimen térmico ha registrado una tendencia a la disminución, especialmente a nivel de 100 hPa (valores por debajo de sus normales), mientras que a nivel de 70 hPa y 50 hPa si bien es cierto han disminuido, pero se encuentran por encima de sus valores normales (el análisis detallado de este proceso se explica más adelante).

FIGURA N° 3

Comportamiento temporal de la concentración de ozono atmosférico en el OVA Marcapomacocha. Enero 2023.



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. Los valores registrados están un poco alejados a ese comportamiento climático. El promedio mensual de ozono en el presente mes fue de 243.3 UD superior en 1.3 UD al promedio mensual multianual (242.0 UD).

Se debe tener presente que en la región tropical durante los meses de la primavera austral e incluso hasta el mes de enero, las concentraciones de ozono disminuyen por efecto de la circulación atmosférica en la capa estratosférica (presencia de vientos zonales mayormente), también es cierto que 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. 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.

Al igual que la información de superficie, lo que proviene de los satélites es muy importante ante la falta de la 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, se puede observar un desfase entre ellos. Con respecto a la información proveniente del AURA/OMI, durante el 86% de días del mes de enero los valores de ozono diario medidos estuvieron por encima de lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson. Para el caso de SUOMI/OMPS, ocurre que durante el 75% de días del mes estuvieron por encima de lo registrado en superficie. Figura 4.

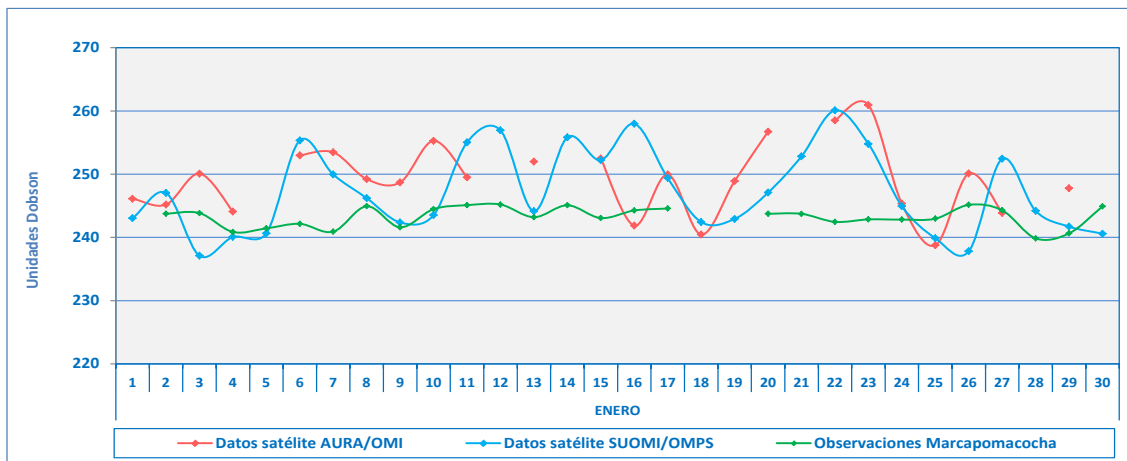
De este análisis podemos decir que existen días donde las diferencias entre los valores registrados por el satélite y el medido en superficie, son bastante altas en el orden de 1 a 15 UD.

Cabe mencionar, que la tendencia de las concentraciones de ozono medidos en superficie es bastante estable en el tiempo mientras que los medidos con los satélites, variable.

La tendencia, de acuerdo a la climatología, es que las concentraciones de ozono se incrementen en el mes de febrero.

FIGURA N° 4

Comparación de información proveniente de los satélites AURA y SUOMI con lo registrado en superficie, en el OVA Marcapomacocha.



Perfil Vertical de Ozono Atmosférico

Se sabe que el casi el 10% de ozono se encuentra en la tropósfera y el 90% en la estratósfera. Es importante 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. En los últimos 20 años aumentaron, mucho más, los 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.

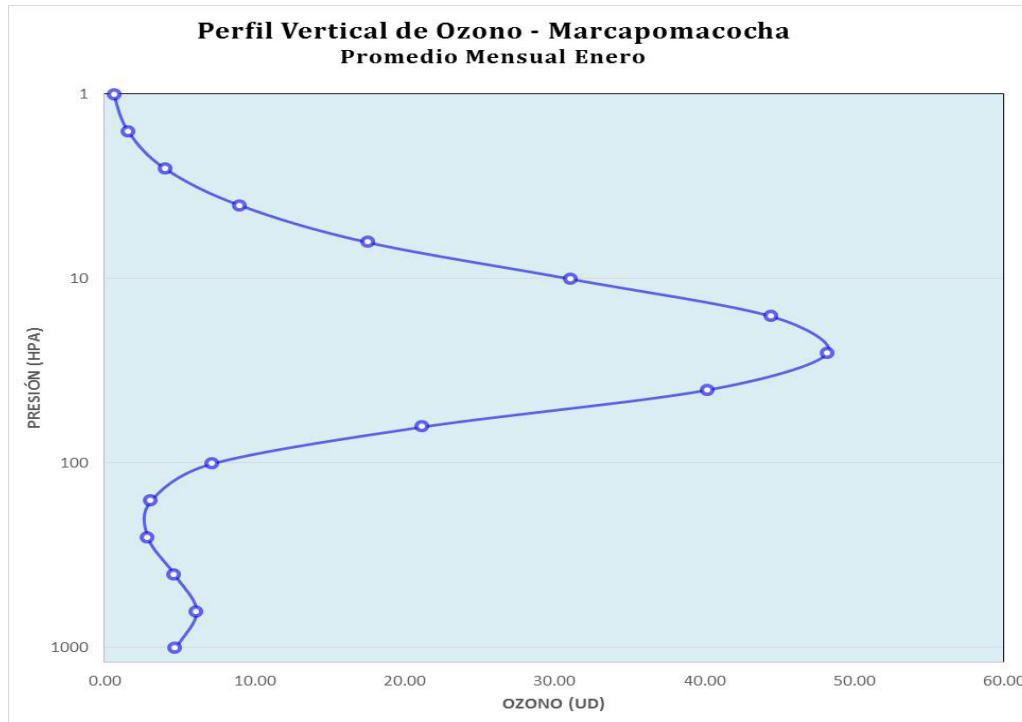
Según la OMM (Organización Meteorológica Mundial), desde el año 2000 hasta el 2020 se han observado por medio de mediciones y desarrollo de modelos una disminución en las concentraciones de ozono (~2% por década) en la estratósfera baja de la región tropical (20°S - 20°N), asimismo en la estratósfera media algo parecido para finalmente en la estratósfera superior un aumento de 2% por década.

De acuerdo a ello, en la figura 5 se puede observar el comportamiento característico del perfil vertical de ozono para el mes de enero 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 remarcar que las

mayores concentraciones de ozono se registran en la segunda capa de la atmósfera.

FIGURA N° 5
Perfil Vertical de Ozono



Por otro lado, según información de perfil vertical de ozono atmosférico para un día típico del mes de enero 2023 obtenida por Metop-C/GOME-2, muestra tanto, para el hemisferio norte como para el hemisferio sur, concentraciones altas en la región tropical, así como en latitudes altas del hemisferio sur, debido a circulaciones regionales (Brewer-Dobson) y la estacionalidad (establecimiento del verano). Asimismo, la altura de las altas concentraciones se registra entre los 40 hPa y 10 hPa en la región tropical, mientras que en latitudes altas la altura de las máximas concentraciones se dio entre los 80 hPa y 30 hPa.

Realizando un análisis para el hemisferio sur, podemos decir que, dada las condiciones propias de la estación de verano, continua el incremento en la intensidad de la radiación solar ultravioleta sobre la superficie terrestre, los cuales también repercuten en un incremento en la actividad fotoquímica, las concentraciones de ozono atmosférico han continuado registrando una tendencia a la disminución debido a estos procesos. Se debe remarcar que climatológicamente, las concentraciones de ozono en nuestras latitudes, son bajas en este primer mes del año.

Para el caso de nuestro país, concentraciones altas se han registrado entre los 40 hPa y 5 hPa con valores entre 13 UD y 22 UD.

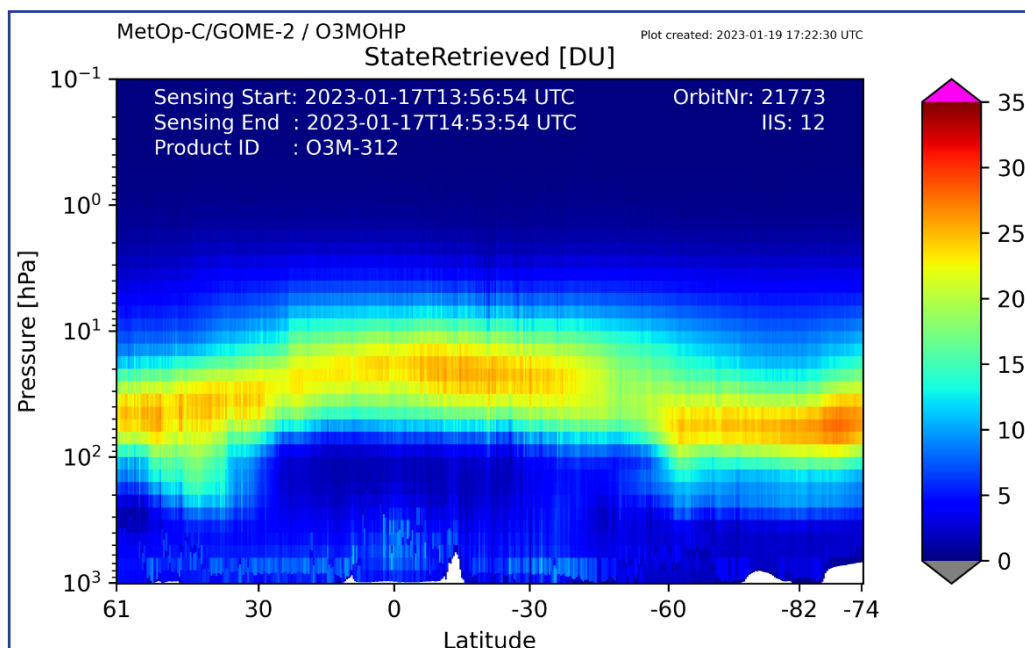
En los primeros niveles de la atmósfera (tropósfera) si bien es cierto que las concentraciones de ozono son bajas (oscilan entre 1 UD y 12 UD), esto se debe a los efectos residuales de la formación del ozono del día anterior, así como también a otros procesos.

En el mes de enero los valores residuales de ozono se incrementaron debido a una mayor actividad fotoquímica producto de incremento en la intensidad de la radiación ultravioleta.

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. Figura 5

En latitudes altas (70°S - 85°S) del hemisferio sur se pueden observar concentraciones de ozono mayores a los de latitudes bajas (debido a la circulación atmosférica), con la diferencia de que la altura de esas mayores concentraciones, se encuentran a menor altura, características que son debidas principalmente a la baja densidad del aire en esa parte de la atmósfera como producto de las bajas temperaturas.

FIGURA N° 6
Perfil Vertical de Ozono según GOME-2



RELACIÓN DE MEZCLA DEL OZONO

Para entender mejor la variabilidad en las concentraciones de ozono es importante considerar la cantidad de mezcla de este gas que pueda existir en capas altas de la atmósfera. El término relación de mezcla permite conocer la cantidad o masa de las moléculas de ozono contenido en el aire medido en gramos de ozono por kilogramo de aire seco (g/kg). Otras definiciones permiten considerar también el término kg/kg.

Esta variable está influenciada por la circulación de las masas de aire los cuales pueden transportar concentraciones altas o bajas de ozono a las regiones en capas entre la baja y media estratósfera.

Según la información obtenida por el Análisis Retrospectivo de la Era Moderna para Investigación y Aplicaciones, versión 2 (MERRA-2 por sus siglas en inglés) es un análisis atmosférico global nuevo producido por la NASA. El objetivo de este análisis es proporcionar un registro detallado de la atmósfera global e incorporar aspectos adicionales del sistema climático como el ozono.

Para el análisis, se considera el nivel de 50 hPa como una capa intermedia entre la baja y media estratósfera.

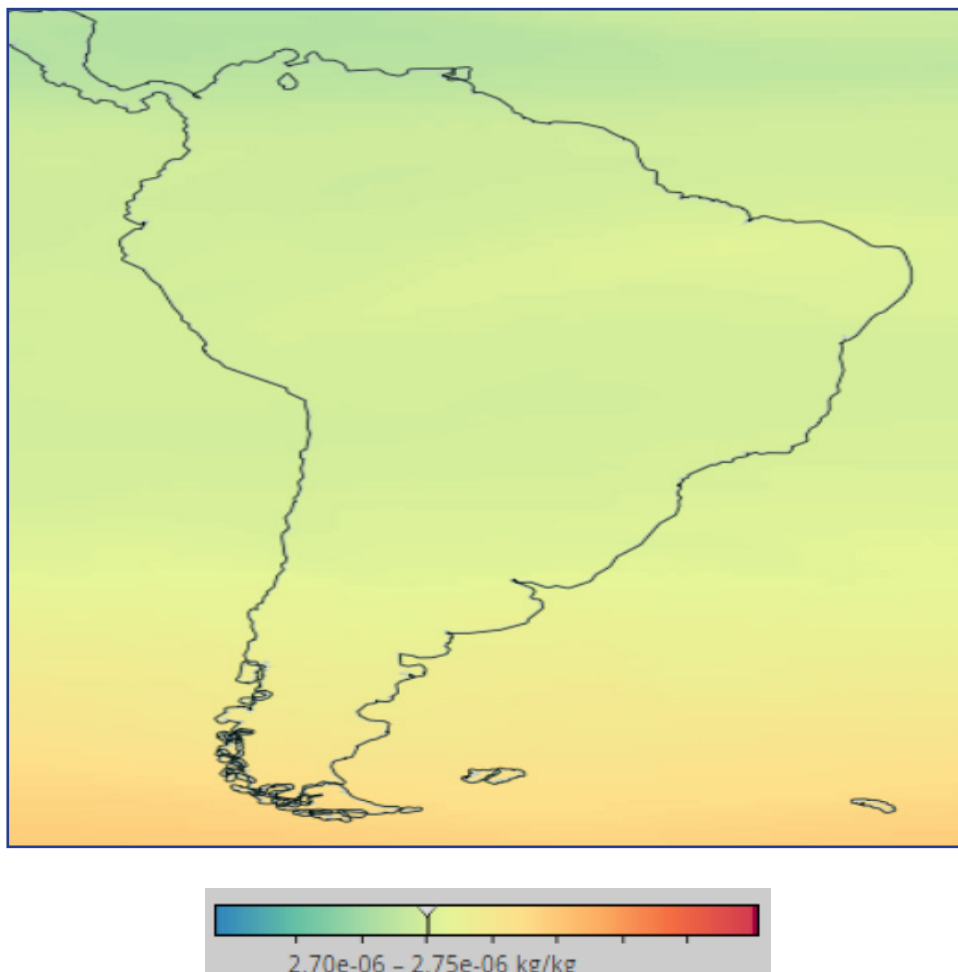
La figura 7 muestra el comportamiento mensual (enero 2023) de la relación de mezcla de ozono para Sudamérica. Para el caso específico de Perú se observan valores entre $2.70e-06$ a $2.75e-06$ kg/kg. Los valores de mezcla son relativamente bajos debido a que el ozono es un gas traza, pero tienen incidencia en el control de la radiación ultravioleta. Por otro lado se debe saber que la mezcla horizontal se produce mucho más rápidamente que la mezcla vertical.

En latitudes medias las relaciones de mezcla se incrementan debido a los procesos de circulación atmosférica.



FIGURA N° 7

Relación de Mezcla de Ozono a 50 hPa. Enero 2023 (MERRA-2)



VAPOR DE AGUA

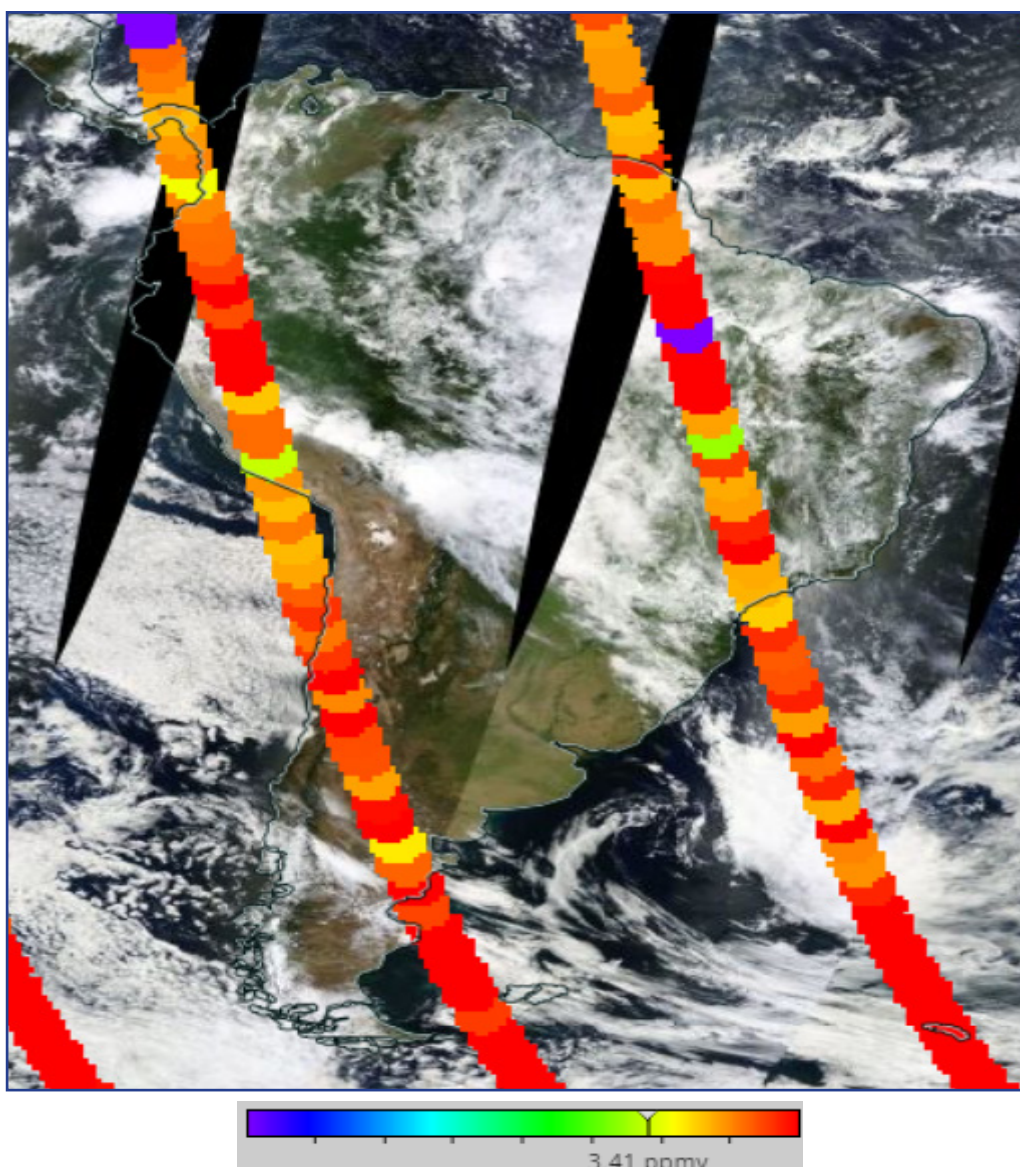
La estratósfera es una capa relativamente seca comparada con la tropósfera, solo se ha podido registrar que en la capa baja de la misma, hay poca humedad. Durante los días 13 y 15 de enero de 2022, se registró una erupción volcánica en el mar del Pacífico Sur, emitiendo grandes cantidades de aerosoles a la atmósfera. Tanto 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.

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 estratósfera y esto permitiría un cambio en las concentraciones de ozono y por ende su impacto a nivel de tropósfera.

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 (14 enero 2023). En ella se observa sobre Perú, concentraciones de vapor de agua bajas en el sur del país con valores de 3.41 ppmv, mientras que en la sierra central valores entre 3.81 ppmv y 4.12 ppmv. En el lado oriental norte, concentraciones entre 4.50 ppmv y 4.60 ppmv. En la región central y norte se observaron las mayores concentraciones de vapor de agua.

FIGURA N° 8
Vapor de Agua a 46 hPa



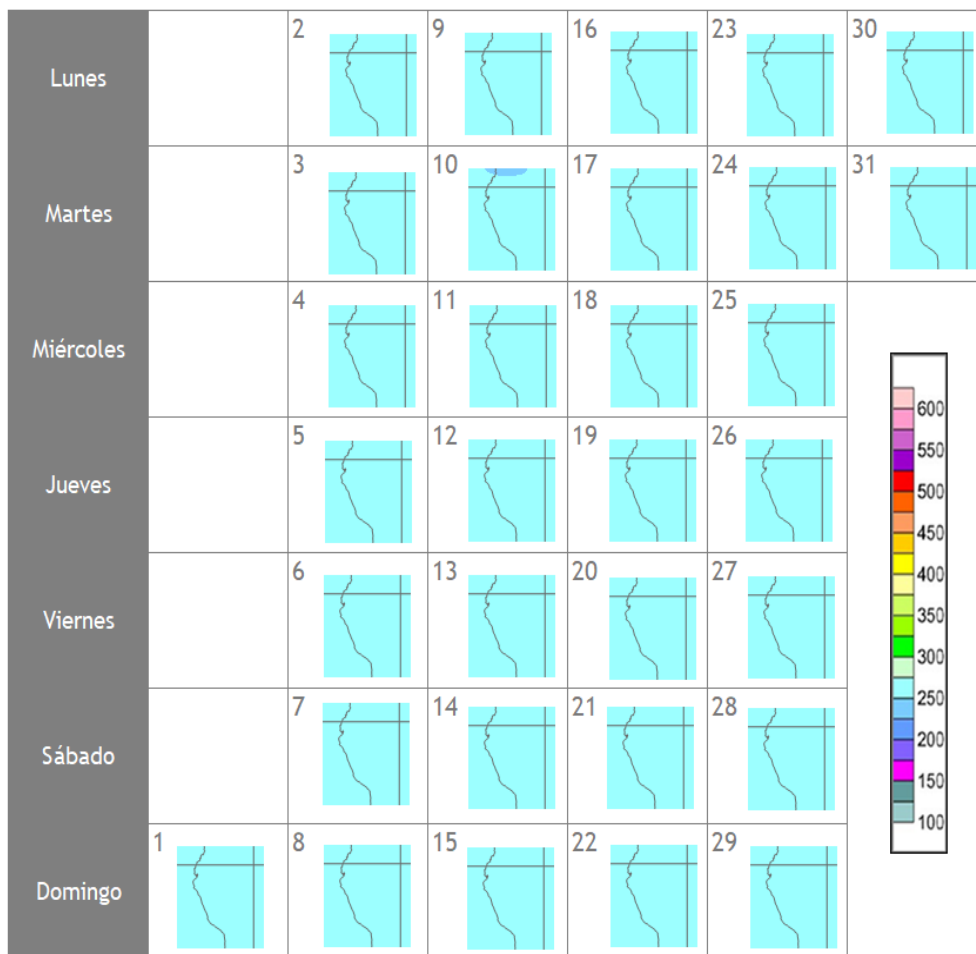
COMPORTAMIENTO TEMPORAL DE LA CONCENTRACIÓN DE OZONO SOBRE EL PERÚ

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 (Fig. 9), podemos mencionar que, para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico, que muestra el mapa, fueron inferiores comparadas al mes anterior. En todo el mes las concentraciones de ozono oscilaron entre 225 UD y 275 UD.

Durante los días 01, 02, 03, 04, 18, 19, 20, 24, 27 y 29 de enero se registraron concentraciones bajas de 225 UD a 250 UD, en gran parte de la región andina, mientras que durante los días 08, 09, 10, 14, 15, 21, 22 y 31 solo en la región andina sur. En otros sectores de la sierra y selva, las concentraciones de ozono oscilaron entre 250 UD y 275 UD en todo el mes.

FIGURA N° 9

Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de enero 2023



TEMPERATURA EN LA BAJA 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.

En la Figura 10 se muestra la distribución temporal de la temperatura desde el mes de enero 2022 hasta el mes de enero 2023, al nivel de 70 hPa y entre las latitudes 25°S - 25°N.

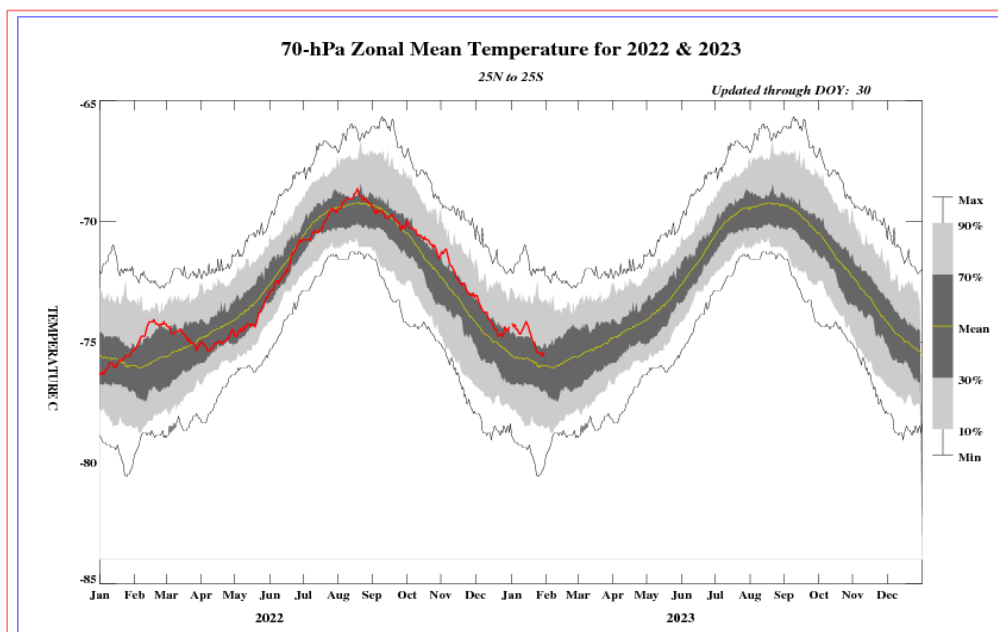
Durante los días de registro, la temperatura en ese nivel (línea de color rojo), ha continuado con un comportamiento a la disminución, cada vez menor al mes pasado, lo cual denota una atmósfera “más fría” (físicamente). Durante el mes, el régimen térmico tuvo dos fases: el primero, con un alejamiento de su normal climática y aumento de la temperatura y el segundo, con un acercamiento y disminución de la misma.

La variabilidad de la concentración de ozono en ese nivel 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. A esto se suma el proceso de la circulación Brewer-Dobson, así como a circulaciones de viento regionales a nivel de alta atmósfera. 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, físicos y químicos. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel y para este mes es de -76.0°C , mayor en valor numérico al mes pasado. La temperatura calculada en este mes, fue de -75.0°C . Como se observa, existe una disminución de temperatura de la masa de aire el cual es muy frío. 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 243.3 UD, menor al mes anterior.



FIGURA N° 10

Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de enero 2023



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

Por otro lado, el comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur en un día típico de enero, es mostrado en la Figura 11 en donde se aprecia que las temperaturas en el continente Antártico han registrado valores en el orden de -45°C a -40°C , debido principalmente a factores atmosféricos (circulación atmosféricas) y astronómico (establecimiento de la estación de verano).

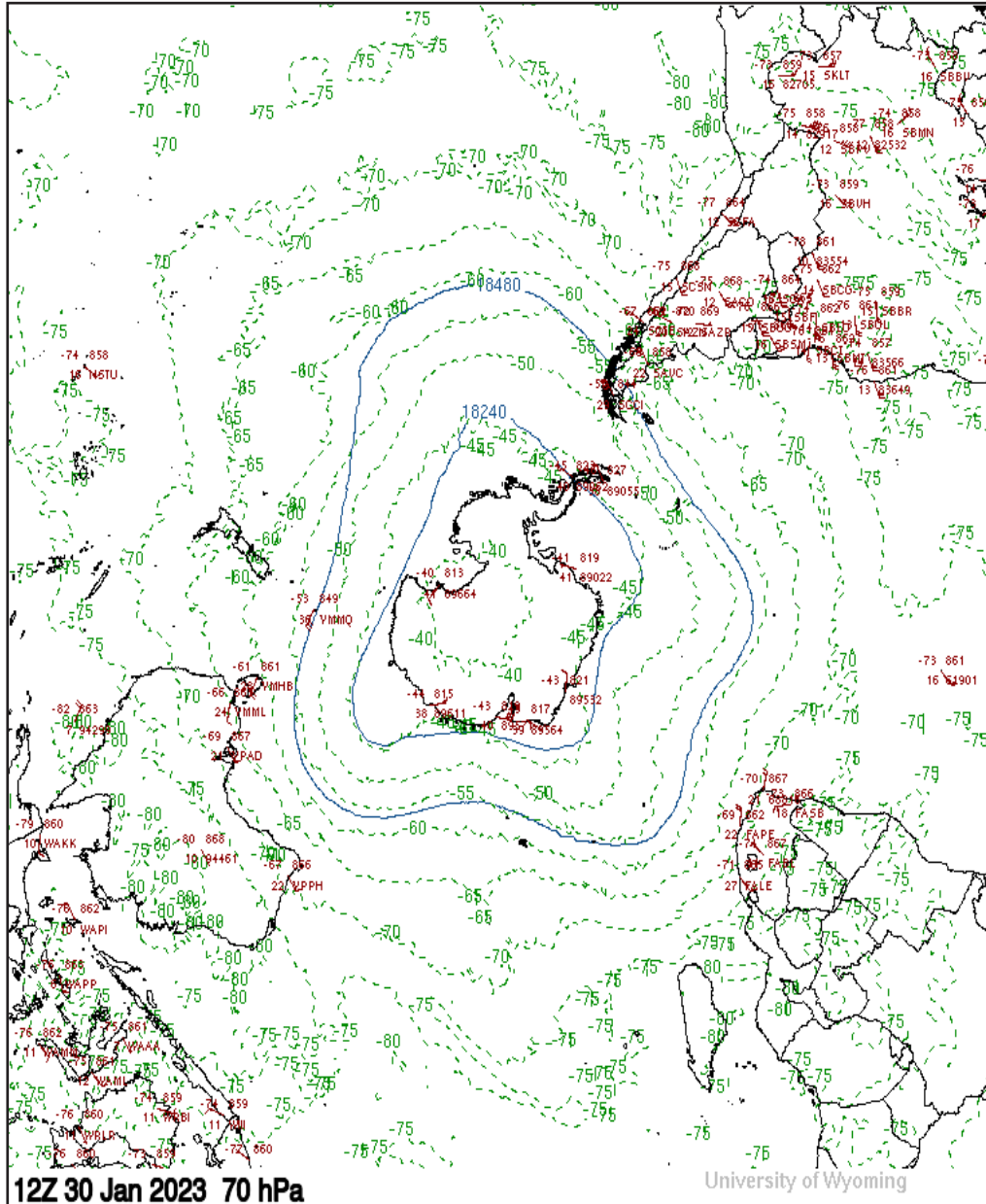
Cabe remarcar que la posición de la tierra con respecto al sol (inclinación con respecto al plano ecuatorial) juega un papel importante en los procesos físico-químicos de la atmósfera. Asimismo, es importante señalar un incremento de la temperatura como producto de la mezcla de aire rico en ozono y más cálidas provenientes de latitudes medias.

En la región tropical o latitudes bajas, las temperaturas en este mes, en la atmósfera alta (media y alta estratósfera) vienen registrando valores por debajo de sus normales climáticas.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel han registrado un valor aproximado entre -77°C y -79°C , (más frío al mes anterior), siendo uno de los factores para la continua disminución (a nivel diario) en las concentraciones de ozono en nuestro país y en parte de la región tropical. A estas condiciones se le aúna la presencia de vientos zonales con escaso aporte de ozono.

FIGURA N° 11

Comportamiento de la temperatura en 70 hPa para el hemisferio sur (30 enero 2023)



Fuente: Universidad de Wyoming

III.-CONCLUSIONES

1. El mes de enero se caracteriza porque climáticamente las concentraciones de ozono sobre nuestro país (los medidos en superficie) continúan disminuyendo. En el presente mes dicho comportamiento ha continuado con la tendencia al descenso, registrando un valor de 243.3 UD como valor promedio. Este descenso tuvo como causa la disminución de la temperatura en 70 hPa (pero mayor a su normal) así como la predominancia de flujos de aire provenientes del este, los cuales inhibieron los ingresos de aire provenientes de otras latitudes.
2. En cuanto a la variación temporal (promedio diario) de la concentración de ozono durante el mes, medidos con el espectrofotómetro Dobson en el OVA Marcapomacocha, oscilaron entre 239.9 UD a 245.2 UD, siendo inferiores al mes pasado, corroborando así el comportamiento climático. También está relacionada con la disminución de la temperatura en la media y alta estratósfera.
3. Con respecto a la distribución vertical del ozono, en la estación VAG Marcapomacocha, según información obtenida por el Metop-C/GOME-2, durante un día típico del mes de enero, se puede concluir que la máxima concentración de la misma, en la región tropical, se encuentra aproximadamente entre los 40 hPa y los 10 hPa (baja y media estratósfera) con valores de 13 UD y 22 UD, mientras que en latitudes altas la altura de las máximas concentraciones se dio entre los 80 hPa y 30 hPa con valores entre 23 UD y 27 UD . La altura de la máxima concentración de ozono sigue relacionada con la variabilidad de la circulación atmosférica en estas dos subcapas, así como a las variaciones termales. Debido a la mayor densidad del aire, la altura en la región tropical es mayor.
4. A pesar de que el ozono es un gas traza, los valores de relación de mezcla mostrados nos indican que las concentraciones, si bien es cierto en valor numérico no son altos, a nivel físico son muy importantes porque controlan el ingreso de la radiación ultravioleta a la superficie terrestre. En latitudes medias, la mezcla es mayor debido a la circulación atmosférica, por lo que la radiación ultravioleta disminuye.
5. Por otro lado, 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 observaron concentraciones bajas en el sur,



mientras que en el centro y norte concentraciones altas

6. Los mapas de ozono total atmosférico (provenientes de la plataforma OMI del satélite AURA de la National Aeronautics and Space Administration - NASA), muestran concentraciones inferiores con respecto al mes pasado (225 UD y 250 UD) en parte de la región andina, mientras que concentraciones mayores se registraron en la selva y algunas regiones de la sierra con valores entre 250 UD y 275 UD. Este comportamiento, en forma general, responde a la variabilidad climática de la misma, debido a variaciones en la circulación atmosférica y procesos fotoquímicos.
7. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que, durante el mes de enero, los valores se caracterizaron por un ligero alejamiento de su normal climática al inicio y posterior acercamiento luego, con tendencia a un “enfriamiento” de la atmósfera (-75.0°C), permitiendo que se registrara una disminución en las concentraciones de ozono (lo cual guarda relación con el comportamiento climático).
8. Debido a que enero es un mes donde los niveles de radiación solar se incrementan mucho más debido al establecimiento de la estación de verano, trae como consecuencia, que los procesos físicos-químicos en la estratósfera sean cada vez más dinámicos, lo cual contribuye a la disminución en las concentraciones del ozono atmosférico.
9. 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. Gabriela Rosas Benancio

grosas@senamhi.gob.pe

Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico:

Ing. Jhojan Rojas Quincho

jpojas@senamhi.gob.pe

Análisis y Redacción:

Ing. Orlando Ccora Tuya

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 marzo de 2023



**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:**

Consultas y sugerencias:

occora@senamhi.gob.pe