

Octubre 2018  
vol. 10

**BOLETÍN MENSUAL  
VIGILANCIA DEL  
OZONO ATMOSFÉRICO  
EN LA ESTACIÓN VAG  
MARCAPOMACOCHA**



# Introducción

La capa de ozono, situada en la estratósfera terrestre (encima de la tropósfera) absorbe la mayor parte de la radiación ultravioleta solar. El uso de los CFC (Clorofluorocarbonos) compuestos artificiales, ha provocado su paso hacia la atmósfera donde han destruido parte de la capa de ozono. Esta destrucción, especialmente importante en la región Antártica, fue descubierta en los años 80 y se tomaron medidas encuadradas en el Protocolo de Montreal para dejar de utilizar estos compuestos destructores del ozono, esperando que se vuelva a la situación de equilibrio a mediados del presente siglo.

Sin embargo, si parte de las manifestaciones incipientes de un cambio global observadas hasta ahora, se deben a este problema, esto confirmaría que el ser humano puede introducir cambios en el clima añadiendo un nuevo grado de incertidumbre al futuro climático de la tierra.

Ahora se cree que la disminución de ozono atmosférico en la Antártida, es el agente dominante de los cambios de circulación atmosférica en el hemisferio sur en los últimos 50 años, por lo que se debe de tomar en cuenta para las políticas de mitigación del cambio climático.

En síntesis esta disminución de ozono es un factor importante en el sistema climático, dado de que algunos modelos indican que ha sido la causa de veranos muy lluviosos en las zonas tropicales.

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.

Se espera que de aquí a algunas décadas se incremente la concentración de ozono en la atmósfera debido a la aplicación del Protocolo y sus enmiendas.

## ANTECEDENTES

El SENAMHI cuenta con una estación de Vigilancia Atmosférica Global de Marcapomacocha ubicada en la sierra central del país (Provincia de Yauli, departamento de Junín), 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" W. 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 la recientemente Chacaltaya (Bolivia) son las que reportan información de las propiedades físicas y químicas de la atmósfera con la finalidad de conocer el comportamiento actual de la atmósfera en esta parte del continente.

Las actividades de la estación VAG de Marcapomacocha se enmarcan en las mediciones de la concentración de ozono total atmosférico en forma diaria en base a mediciones 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 dicha estación.

Con las mediciones realizadas desde 1962 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 (año 2018) la estación VAG de Marcapomacocha también podrá realizar mediciones de algunos gases de efecto invernadero como por ejemplo CO<sub>2</sub> y Carbono negro (hollín).

---

# I.- METODOLOGIA DE CÁLCULO DEL OZONO ATMOSFERICO

## 1.- MEDICION EN SUPERFICIE

Con un instrumento denominado Espectrofotómetro Dobson (Figura 1), es posible realizar mediciones sobre la cantidad de Ozono total Atmosférico, 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. Se llamarán a estas ondas seleccionadas, LDO: "A" , "C" y "D".

**FIGURA N° 1**  
Espectrofotómetro Dobson



---

La luz entra al instrumento a través de la ventana que se encuentra en la parte superior del mismo y selecciona solo dos haces (de luz) el cual se controla manualmente basándose en el método de diferencia de absorción en la banda ultravioleta de Huggins en donde el ozono presenta una fuerte absorción. El principio de la medida depende de la relación de intensidad de la luz del sol a dos longitudes de onda. La combinación de pares usados es a sol directo (doble par AD) 305.5 nm (1nm = 10<sup>-9</sup> m) a 325.4 nm ; 317.6 nm a 339.8 nm.

En el primer par, la primera longitud de onda (305.5 nm) es atenuada en la alta atmósfera por el ozono y reduce su intensidad al llegar a la superficie de la tierra, mientras que la segunda longitud de onda (325.4 nm) no es absorbida por el ozono, por lo tanto, a través de una diferencia comparativa de las intensidades, podemos determinar el ozono total.

## 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 hiperespectrales del instrumento (recopilación y procesamiento de la información a lo largo de todo el espectro electromagnético) mejoran la precisión y exactitud de las cantidades de ozono total.

---

## II.-RESULTADOS.

Del monitoreo realizado durante el mes de octubre 2018 en la estación de Vigilancia Atmosférica Global de Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario - diario en general, estuvo oscilando entre 242.0 UD y 252.6 UD.

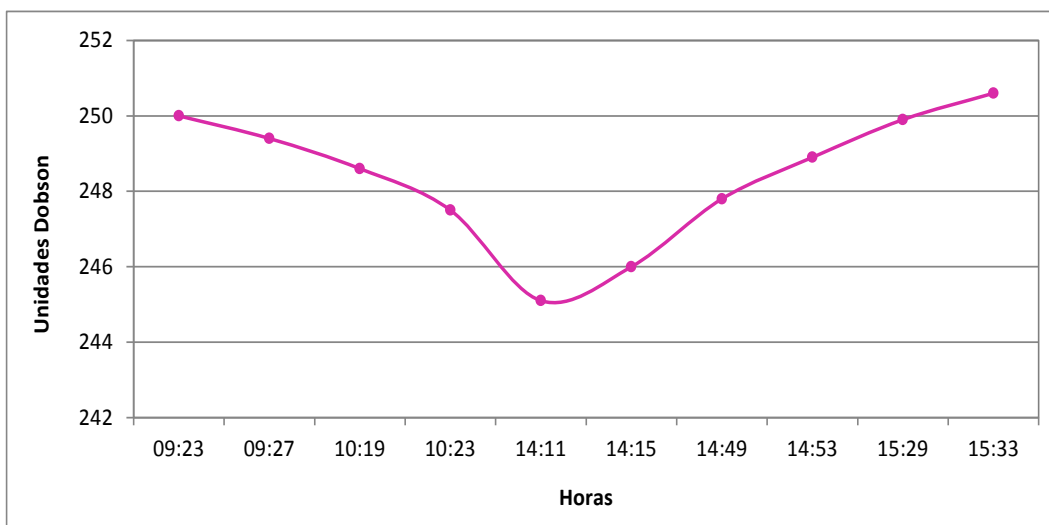
La Figura 2 muestra un ejemplo típico del comportamiento horario del ozono atmosférico para un día del mes de octubre. En las primeras horas del día las concentraciones de ozono son altas y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía los valores empiezan a disminuir para luego en horas 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, tal como se ha mencionado, se enmarca en que durante las mañanas la incidencia de la radiación ultravioleta es baja y por ende las concentraciones de ozono son relativamente altas, a medida que la intensidad de la radiación ultravioleta se incrementa en forma paulatina hacia el mediodía, 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 a nivel de tropósfera) y meteorológicos (transporte de ozono).

Cabe mencionar que en este mes las condiciones de tiempo atmosférico están influenciadas por sistemas característicos de la temporada de primavera, como por ejemplo a nivel de alta tropósfera la Alta de Bolivia se posiciona e intensifica al norte de Bolivia incentivando flujos de viento de este a oeste que desplazan la humedad de la región amazónica hacia la región andina induciendo a condiciones favorables para la ocurrencia de lluvias e incluso de trasvases en la costa. En niveles altos de la atmósfera (a nivel de 70 hPa) es característico, en este mes, vientos provenientes del este mas no del norte que permiten el traslado de masas de aire con dirección zonal no permitiendo el ingreso de masas de aire de otras latitudes lo que traería como consecuencia una cierta disminución del ozono especialmente sobre nuestro país. Asimismo los sistemas atmosféricos como el APS (Anticiclón del Pacífico Sur), zona de convergencia intertropical continúan su desplazamiento hacia el hemisferio sur permitiendo que en gran parte de los días del mes, continúen presentándose buenas condiciones de tiempo en la costa peruana mientras que en la sierra se van caracterizando condiciones de alta convección.

**FIGURA N° 2**

**Comportamiento horario típico de ozono atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha 08 de octubre de 2018.**



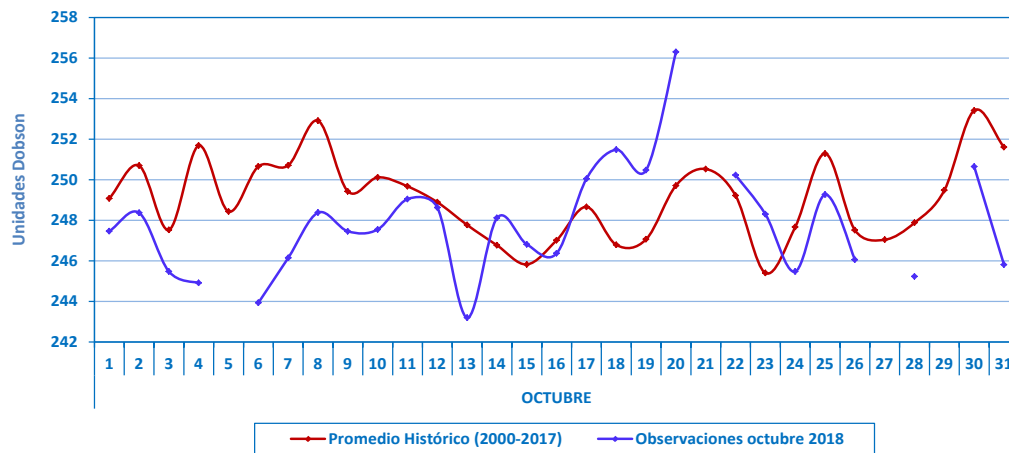
A nivel promedio diario, la concentración de ozono atmosférico estuvo oscilando entre 243.2 UD y 251.5 UD (Figura 3, línea de color azul). Se debe resaltar, que en este periodo (diario), casi toda la información de ozono estuvo por encima de los 243.0 UD, a pesar de ello, en gran parte del mes estos valores estuvieron por debajo de sus promedios históricos diarios.

La climatología del ozono, en la estación VAG de Marcapomacocha, permite observar que durante el año se presentan dos picos, uno en el mes de marzo con un valor de 244.7 UD y el otro, mucho mayor, en el mes de setiembre con un valor de 252.2 UD. Por otro lado los valores bajos de ozono se registran climáticamente entre los meses de mayo y junio con valores de 240.7 UD y 241 UD respectivamente. En el presente mes de octubre el valor promedio mensual fue 247.5 UD inferior al mes anterior e inferior a su promedio histórico en 1.8 UD. Si bien es cierto que en los meses de verano en la región tropical se forma y destruye más ozono por efecto de la mayor intensidad de la radiación ultravioleta, también es cierto que la circulación de los vientos 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), que permite el déficit de ozono atmosférico en latitudes bajas. En el presente mes, a nivel de 70 hPa, para el caso de Perú se han registrado pocos aportes de ozono provenientes de otras latitudes (circulación mayormente zonal).



### FIGURA N° 3

Variabilidad temporal de la concentración de ozono atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha. Mes de octubre de 2018.



Se ha observado que los valores diarios de ozono durante el mes de octubre 2018, han empezado a disminuir con respecto al mes de setiembre, y continúan comportándose de una manera variable, dado de que en el 70% de días del mes, los valores han estado por debajo de su promedio histórico diario (2001 - 2016), tal como se puede apreciar en la Figura 3 (línea de color azul).

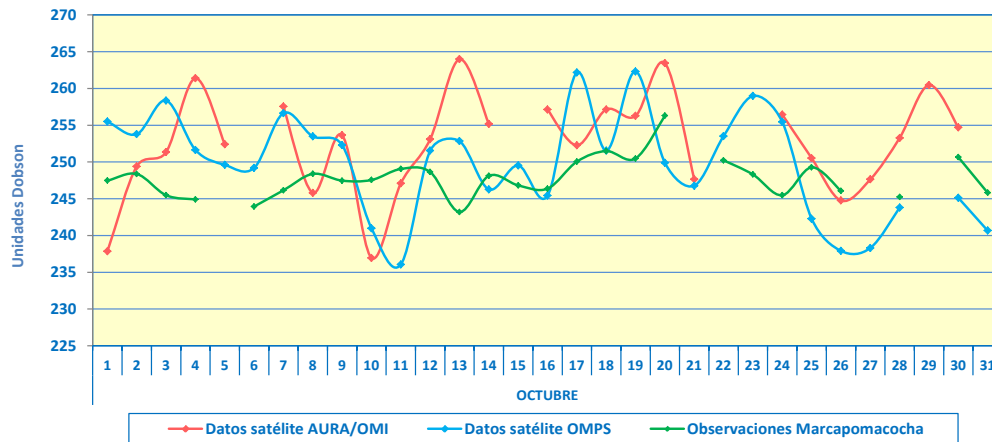
Las desviaciones negativas entre lo observado y el histórico osciló entre -0.3 UD a -6.8 UD, lo cual nos ha permitido saber que en el mes de octubre se han registrado concentraciones de ozono menores comparado a su valor normal.

Al realizar la comparación de los datos de ozono atmosférico provenientes de los satélites AURA (Plataforma OMI) y SUOMI con lo observado en superficie, se puede observar un gran desfase entre ellos. Durante el 77% de días del mes de octubre los valores de ozono diario medidos con el Espectrofotómetro Dobson se encontraron por debajo de lo registrado por el satélite AURA/OMI, mientras que comparado con el satélite SUOMI se notó que el 60% de días están también por debajo del mismo. Ver figura 4.

De este análisis podemos decir que, en este mes, los dos satélites muestran valores de ozono mucho mayores a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson.

**FIGURA N° 4**

**Comparación de ozono atmosférico proveniente de satélite versus información de superficie durante octubre 2018**



Las concentraciones de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha considerando solo los meses de octubre de 2001 hasta 2017, se ha notado una disminución de 1.8 UD, lo cual se ha traducido en que los niveles de radiación ultravioleta se mantengan Muy altos en este mes, por lo menos en esta región de nuestro país, debido el efecto de la altitud. (<http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-35.pdf>).

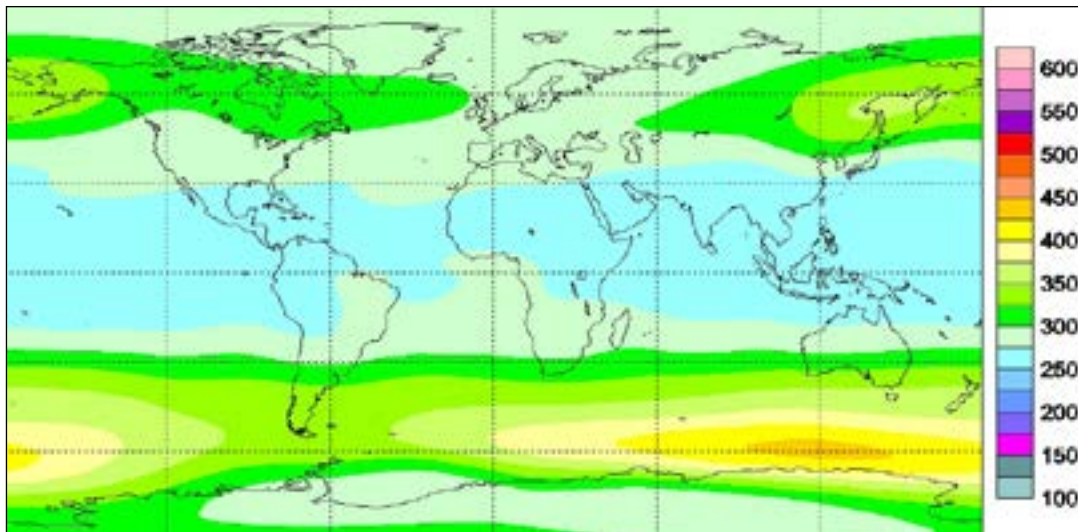
Se debe considerar que la disminución de las concentraciones de ozono en este mes, se debería en parte a que en la atmósfera continúan persistiendo elementos que disminuyen su concentración (como por ejemplo los HCFC y los CFC-11) aunados a factores como circulación de la atmósfera y transporte de masas de aire.

En cuanto a los reportes globales provenientes del satélite se puede mencionar lo siguiente:

- En la Figura 5 se observa el mapa climático (1978 - 1988) de ozono total atmosférico global para el mes de octubre, donde se muestra que las concentraciones relativamente altas a nivel global se registran en gran parte de la región tropical entre los 30°N y 20°S con valores que oscilan entre 250 UD - 275 UD.

**FIGURA N° 5**

**Mapa Climático de ozono total atmosférico (1978 – 1988) para el mes de octubre**

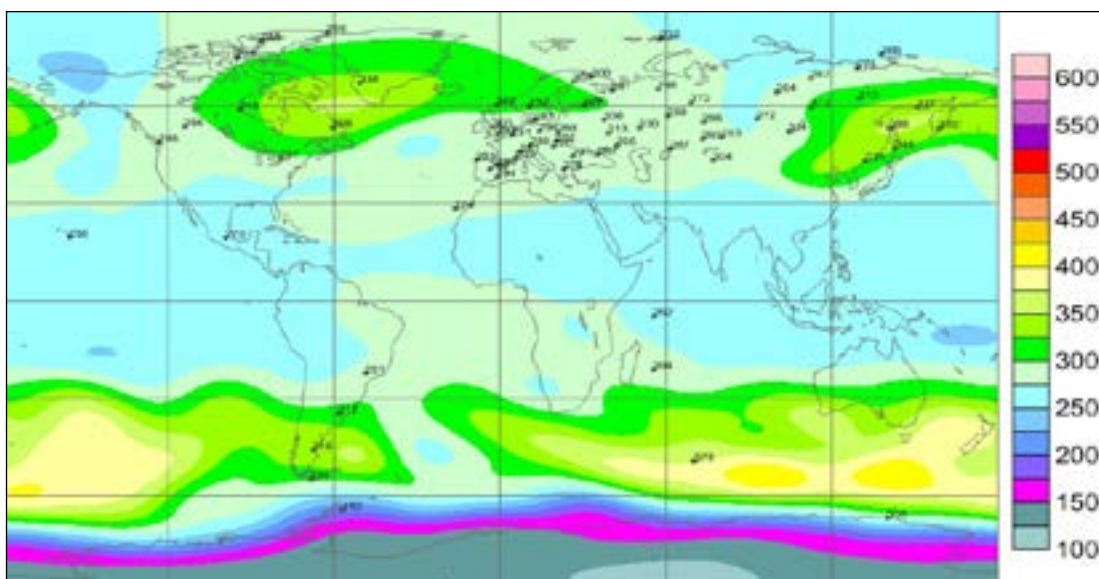


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- En la Figura 6 se observa el mapa mensual global correspondiente al mes de octubre de 2018 y en ella se muestra que en todo el Perú, el comportamiento de ozono es alto (250 UD - 275 UD), mientras que en latitudes medias del hemisferio sur las concentraciones de ozono registraron valores superiores entre 300 - 350 UD.

**FIGURA N° 6**

**Comparación de ozono atmosférico proveniente de satélite versus información de superficie durante octubre 2018**

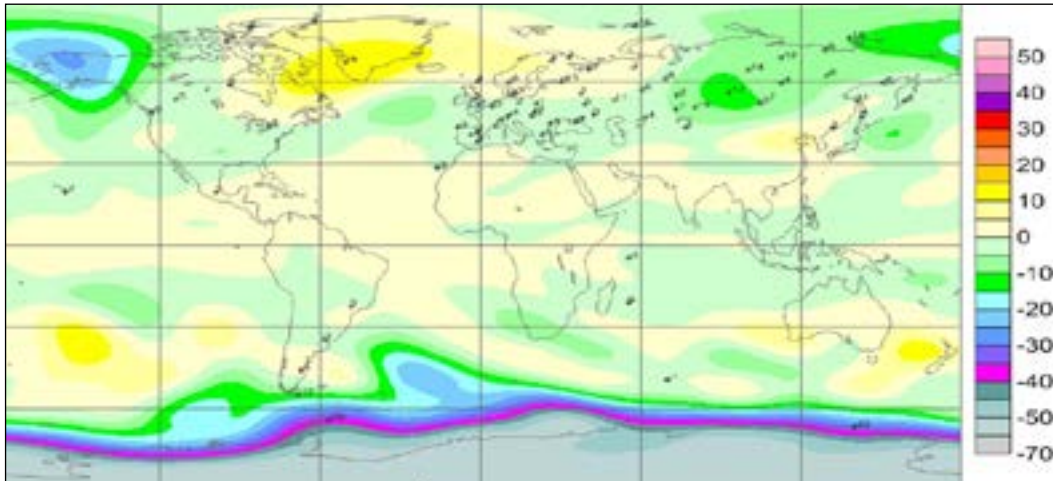


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- En cuanto a la desviación media del mes, para el caso de Perú, los valores de ozono estuvieron por debajo de sus concentraciones normales (anomalías negativas) en gran parte del país (zona central y sur), con valores de -5% con excepción de la región norte el cual tuvo valores 5%. Ver Figura 7.

#### FIGURA N° 7

Desviación Media (%) del ozono total atmosférico para el mes de octubre 2018



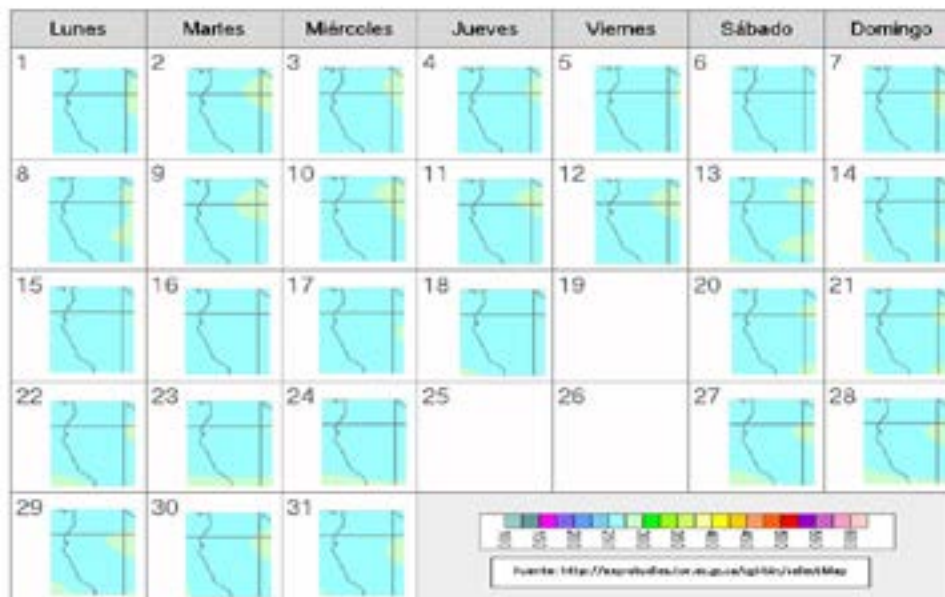
Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

Se debe recalcar que la información (datos) proveniente de los satélites AURA plataforma OMI y SUOMI, en este mes de octubre, muestra generalmente concentraciones mayores de lo que se registra en superficie.

En cuanto al análisis de los mapas en forma diaria provenientes del Centro mundial de datos de ozono y radiación ultravioleta con sede en Canadá, podemos mencionar que para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico registrados llegaron a mantenerse en todo el mes (Figura 8), con concentraciones que oscilaron entre 250 UD y 275 UD (similar al mes de setiembre).

**FIGURA N° 8**

Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de octubre 2018



## 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 el 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 de la circulación atmosférica.

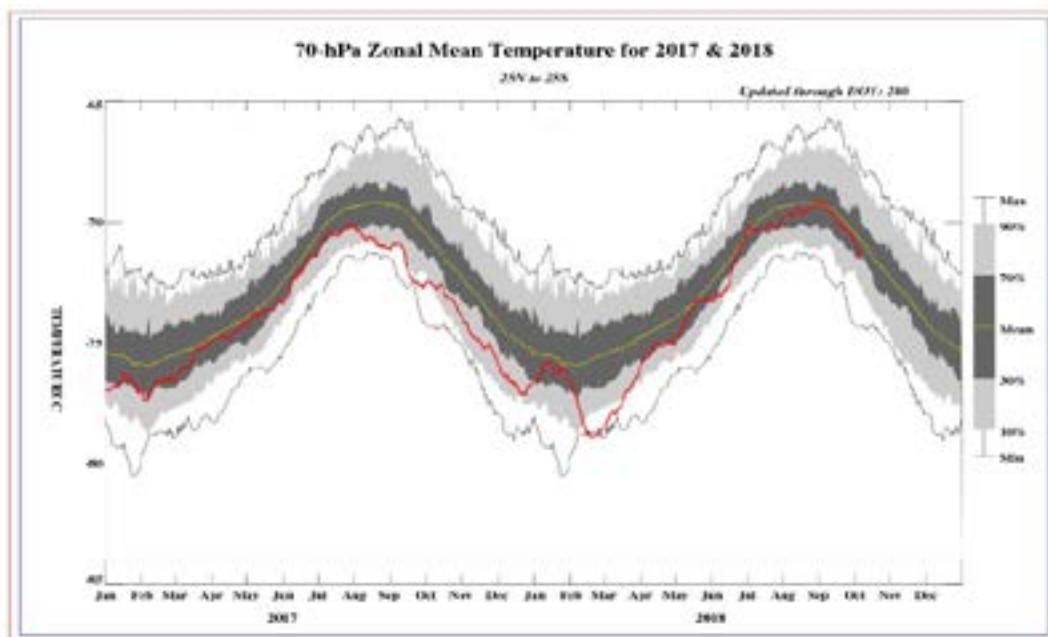
En la Figura 9 se muestra la distribución temporal de la temperatura desde el mes de enero 2017 hasta el mes de octubre 2018, al nivel de 70 hPa y entre las latitudes 25°S - 25°N.

En ella se observa claramente que la temperatura en ese nivel (línea de color rojo) mantiene un cierto alejamiento con respecto a su valor normal (línea de color verde), especialmente a partir de la segunda quincena del mes. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel es de  $-71.7^{\circ}\text{C}$ , ligeramente menor ("más frío") al mes de setiembre, pero los calculados en este mes de octubre del presente año tienen un promedio mensual de  $-72.1^{\circ}\text{C}$  (2.6 grados por encima de su promedio histórico), pero siempre dentro del intervalo entre los valores al 30% y 70% de su variabilidad mensual (achurado de color oscuro) aunque durante casi todo el mes ha estado en el límite inferior, mucho más en la última semana de octubre donde estuvo por debajo del límite inferior.

Esto nos indicaría, que los valores de ozono se sigan manteniendo superiores en la alta estratósfera, mientras que en baja estratósfera las concentraciones son bajas.

### FIGURA N° 9

#### Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de octubre 2018



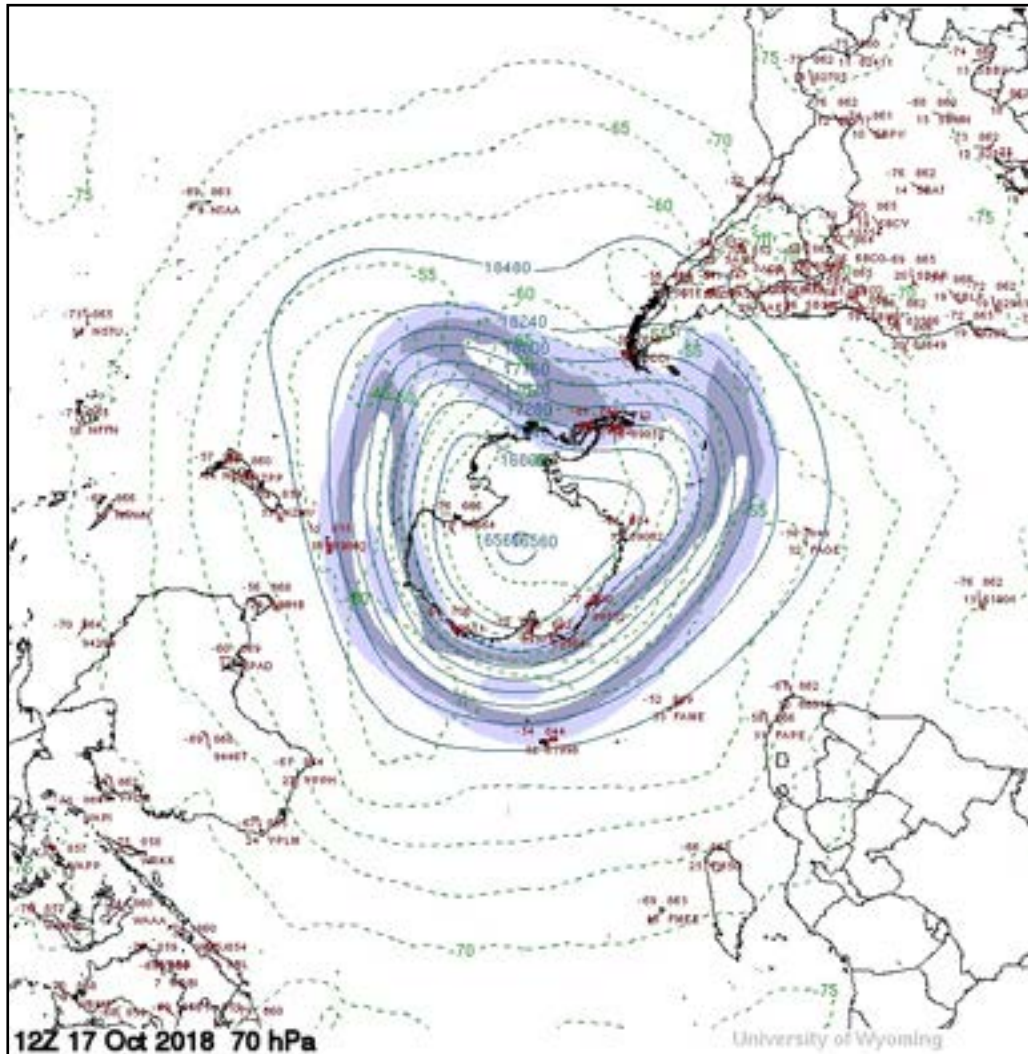
Fuente: National Weather Service, Climate Prediction Center (Web Site)

A nivel del comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur (Fig. 10) en un día típico del mes de octubre, se puede mencionar que las temperaturas en el continente antártico han registrado valores en el orden de  $-85^{\circ}\text{C}$  a  $-80^{\circ}\text{C}$  en promedio, debido al mayor aumento de la intensidad de la radiación solar (disminuye ángulo de declinación de la tierra con respecto al sol) el cual permite un ligero aumento de la temperatura en dicha región al mismo tiempo que los mecanismos para la persistencia del vórtice polar antártico van disminuyendo. Por otro lado en la región tropical o latitudes bajas las temperaturas han registrado valores relativamente bajos al mes pasado generando que las concentraciones de ozono sean menores al mes de setiembre.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel han oscilado entre  $-70^{\circ}\text{C}$  y  $-75^{\circ}\text{C}$  inferior a nivel de masa de aire (masa relativamente fría) con respecto al mes de setiembre. En la figura 10 se puede apreciar un comportamiento típico de la temperatura sobre nuestras latitudes lo cual nos da a entender una cierta relación entre lo que pasa en este nivel y lo que pasa a través de la columna de ozono total obtenido por satélite (ligera disminución de la concentración de ozono).

**FIGURA N° 10**

Comportamiento de la temperatura en 70hPa para el Hemisferio Sur (17 de octubre 2018)



Fuente: Universidad de Wyoming

---

### III.-CONCLUSIONES



1. El comportamiento horario de la concentración de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha, en el mes de octubre, varía desde valores altos en las primeras horas de la mañana 252.6 UD (menor al mes anterior) hasta valores relativamente bajos en horas cercanas al mediodía (242.0 UD). Este comportamiento se debería a que en las primeras horas del día la intensidad de la radiación ultravioleta es baja y por ende no habría mucha acción fotoquímica lo que se traduciría en concentraciones relativamente altas de ozono, mientras que hacia mediodía la intensidad de la radiación ultravioleta se incrementa (cielo nublado a cubierto) y por ende se presentan actividades fotoquímicas no muy intensas, trayendo como consecuencia el aumento de la concentración de ozono.
2. A nivel de tropósfera la concentración de ozono es mucho menor que en la estratósfera, pero en las primeras horas del día debido a los efectos residuales generados el día anterior (ozono acumulado), permite que se incremente (aunque en pocas cantidades) la concentración de este gas en esas horas. En horas de la tarde ocurre el mismo proceso debido a la disminución de la radiación solar (aumento de la concentración de ozono atmosférico).
3. En cuanto a la variación temporal (promedio diario) de la concentración de ozono, se puede mencionar que durante este mes de octubre osciló entre 243.2 UD a 251.5 UD (valor mínimo menor al mes de setiembre y valor máximo menor al mes anterior en 3.1 UD). Estos valores, comparados con el promedio diario multianual, podemos determinar que son bajos, en el orden de 1.8 UD. La presencia de sistemas propios de la estación astronómica de primavera, circulación de vientos a nivel de 70 hPa de este a oeste mayormente y poca o mínima presencia de núcleos anticiclónicos en este nivel, no han permitido el traslado de cantidad de masas de aire con contenido de ozono desde el hemisferio norte hacia otras regiones del continente (flujo zonal).
4. La información de ozono proveniente del satélite AURA plataforma OMI y del SUOMI, en este mes de octubre, estuvieron muy por encima de lo registrado en superficie. En gran parte de días del mes, no hubo coincidencia entre los valores que se esperaban.
5. Los mapas de ozono total atmosférico en el mes de octubre (elaborados por el Centro Mundial de Datos de Ozono y Radiación Ultravioleta con sede en Canadá), para el caso de nuestro país, muestran concentraciones que oscilan entre 250 UD a 275 UD durante todos los días del mes, valores



---

similares al mes de setiembre.

6. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que hasta el mes de octubre del presente año los valores continuaron en forma muy ligera por debajo de su normal climatológica específicamente durante la primera quincena del mes. En promedio su normal climática es de aproximadamente  $-71.7^{\circ}\text{C}$ , pero resulta que en este mes registró un valor promedio de  $-72.1^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, valor físico por debajo de su normal en  $0.4^{\circ}\text{C}$ , lo cual nos hace pensar que a nivel de alta atmósfera como que la concentración de ozono estaría absorbiendo menos radiación ultravioleta.
7. Se requiere disponer de información de la concentración de ozono total a nivel del perfil vertical de la atmósfera a fin de determinar la variabilidad en el comportamiento del ozono en sus diferentes capas y relacionarlos con los procesos de transferencia radiativa que se puedan estar dando sobre nuestro país.



**Dirección de Meteorología y evaluación Ambiental Atmosférica:**

Ing. Gabriela Rosas Benancio

[grosas@senamhi.gob.pe](mailto:grosas@senamhi.gob.pe)

**Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico:**

Ing. Jhojan Rojas Quincho

[jpojas@senamhi.gob.pe](mailto:jpojas@senamhi.gob.pe)

**Análisis y Redacción:**

Ing. Orlando Ccora Tuya

Bach. Juan Tacza Ordoñez

Tco. Rosalinda Aguirre Almeyda

Tco. Julia Astudillo Capcha

.....  
**Próxima actualización:** 15 de diciembre de 2018



**Servicio Nacional de Meteorología e  
Hidrología del Perú - SENAMHI**

Jr. Cahuide 785, Jesús María

Lima 11 - Perú

**Central telefónica:** [51 1] 614-1414

**Subdirección de Evaluación del Ambiente**

**Atmosférico:** [51 1] 470-2867 anexo 444

**Consultas y sugerencias:**

[occora@senamhi.gob.pe](mailto:occora@senamhi.gob.pe)

