

Febrero 2018  
vol. 02

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

En los últimos tiempos, debido aún a la emisión de sustancias agotadoras de ozono es que en algunas regiones en el mundo se registra una disminución en la concentración de ozono, el cual altera el balance de radiación con lo que traería posibles consecuencias en el clima mundial.

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 esos productos químicos 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 ( $1\text{nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ) 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) continua 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 febrero 2018 en la estación de Vigilancia Atmosférica Global de Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario - diario en general, estuvo oscilando entre 240.1 UD y 246.9 UD.

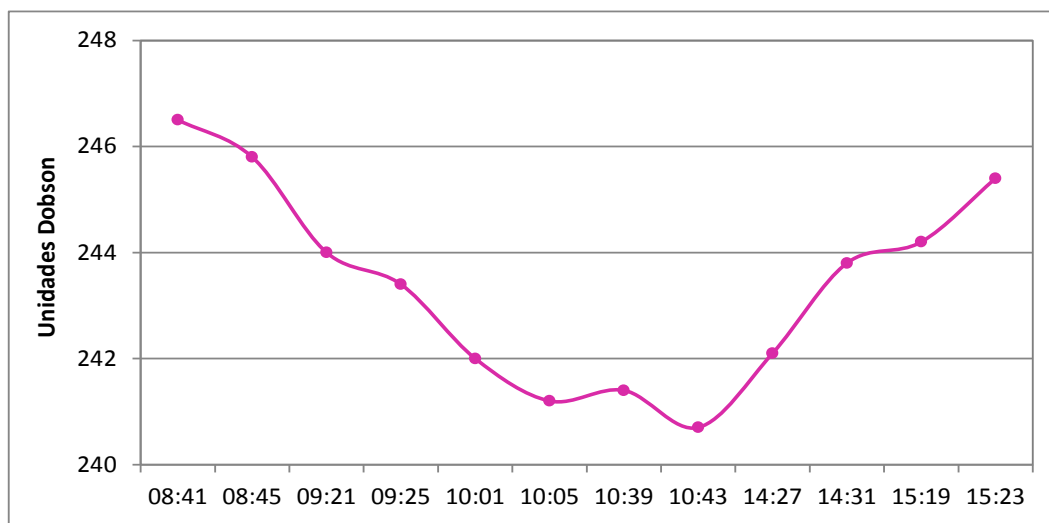
La Figura 2 muestra un ejemplo típico del comportamiento horario del ozono atmosférico para un día del mes de febrero. En las primeras horas del día las concentraciones de ozono son altas y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía los valores empiezan a disminuir para luego en horas 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 van cambiando aún más (de cielo nublado a cielo cubierto, especialmente en la región andina y selva por efecto del establecimiento de la temporada de lluvias en el hemisferio sur), por lo que la radiación solar incidente tiende a ser de forma indirecta o difuso mayormente y a veces cuando se tiene cielo despejado en forma directa y en forma perpendicular, permitiendo que los procesos fotoquímicos sean bastante dinámicos.

**FIGURA N° 2**

**Comportamiento horario típico de ozono atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha 09 de febrero de 2018.**

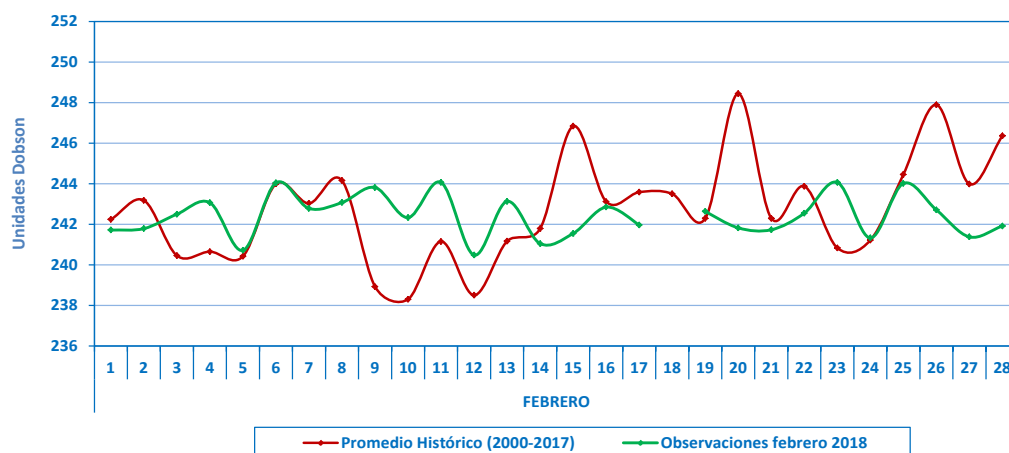


A nivel promedio diario, la concentración de ozono atmosférico estuvo oscilando entre 240.5 UD y 244.1 UD (Figura 3. Línea de color verde). Se debe resaltar, que en este periodo (diario), toda la información de ozono estuvo por encima de los 240.5 UD, a pesar de ello, continúan siendo ligeramente menores a 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. 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 se han observado vientos del este y nor este hacia el oeste y sur oeste los cuales han permitido alguna estabilidad en las concentraciones de ozono pero con una ligera tendencia al aumento (a nivel de 70 hPa) entre las latitudes de 10°N y 20°S (gran parte de la región tropical), los cuales han permitido registrar valores ligeramente altos de ozono con respecto al mes de enero pasado.

**FIGURA N° 3**

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



Asimismo se ha observado que los valores diarios de ozono durante el mes de febrero 2018, se han incrementado en forma ligera con respecto al mes de enero, han continuado comportándose de una manera bastante estable, dado de que casi en el 50% 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 verde).

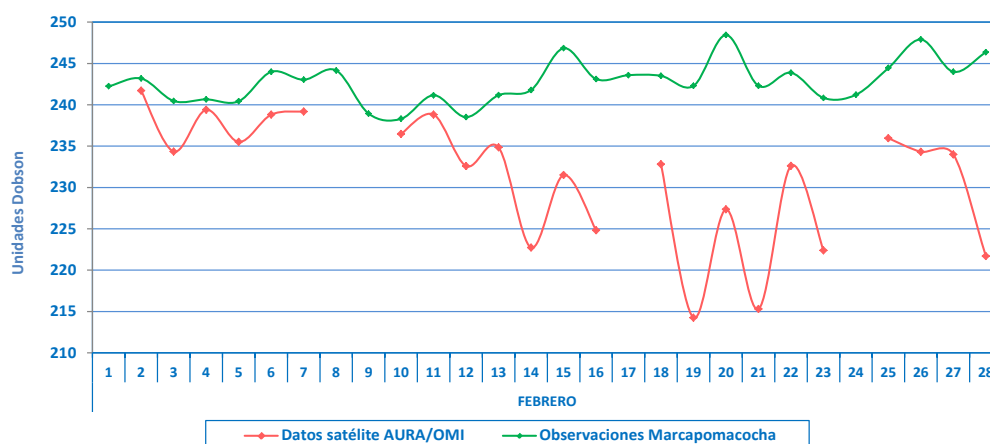
Las desviaciones negativas entre lo observado y el histórico osciló entre -0.3 UD a -6.6 UD (intervalo mayor al mes de enero), lo cual nos permite saber que las concentraciones de ozono diario han ampliado su margen de desviación en el mes de febrero del presente

Al realizar la comparación de los datos de ozono atmosférico provenientes del satélite AURA (Plataforma OMI) con lo observado en superficie, se puede observar un desfase entre ellos. Durante todo el mes de febrero los valores de ozono diario medidos con el Espectrofotómetro Dobson han estado por encima de lo registrado por el satélite AURA/OMI, tal como se puede apreciar en la Figura 4.



**FIGURA N° 4**

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



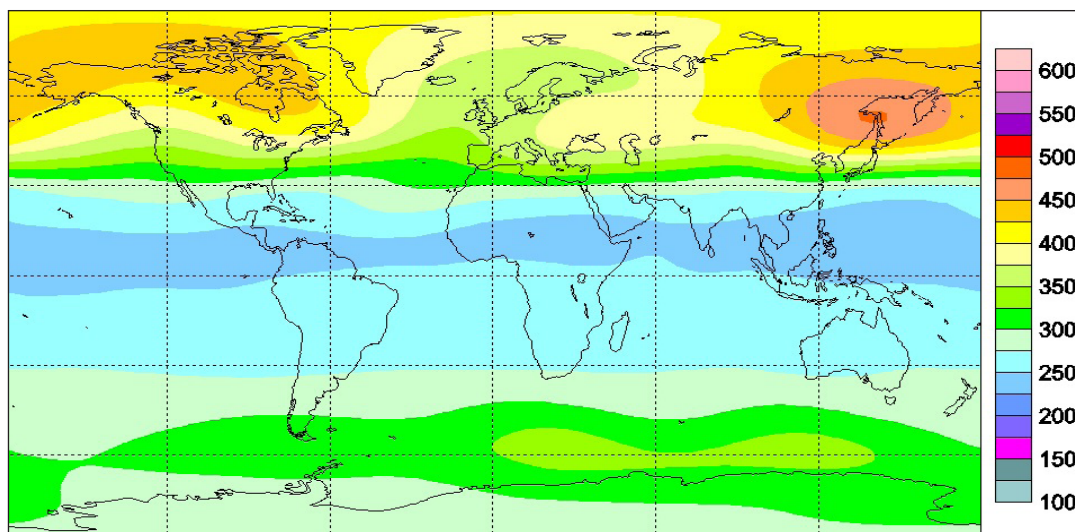
Del análisis realizado a las concentraciones de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha considerando solo los meses de febrero de 2001 hasta 2017, se ha notado una disminución cercano a 0.8 UD, lo cual se ha traducido estacionalmente, en un incremento en los niveles de radiación ultravioleta en este mes, por lo menos en esta región de nuestro país, debido a la altitud y la baja concentración de ozono influenciado además por factores astronómicos (<http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-29.pdf>).

Se debe considerar que la disminución de las concentraciones de ozono se debería en parte a que en la atmósfera aún continúan persistiendo elementos que disminuyen su concentración (como por ejemplo los HCFC) 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 observar en la Figura 5 el mapa climático (1978 - 1988) de ozono total atmosférico global para el mes de febrero, donde se muestra que las concentraciones más bajas a nivel global continúan registrándose en casi toda la región tropical, pero desplazado ligeramente hacia el hemisferio norte, con valores que oscilan entre 225 UD - 250 UD, concentraciones parecidas al mes de enero. En casi toda Sudamérica las concentraciones de ozono oscilan entre 250 UD y 275 UD, con excepción de la región sur del continente donde las concentraciones oscilan entre 275 UD y 300 UD.

**FIGURA N° 5**

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

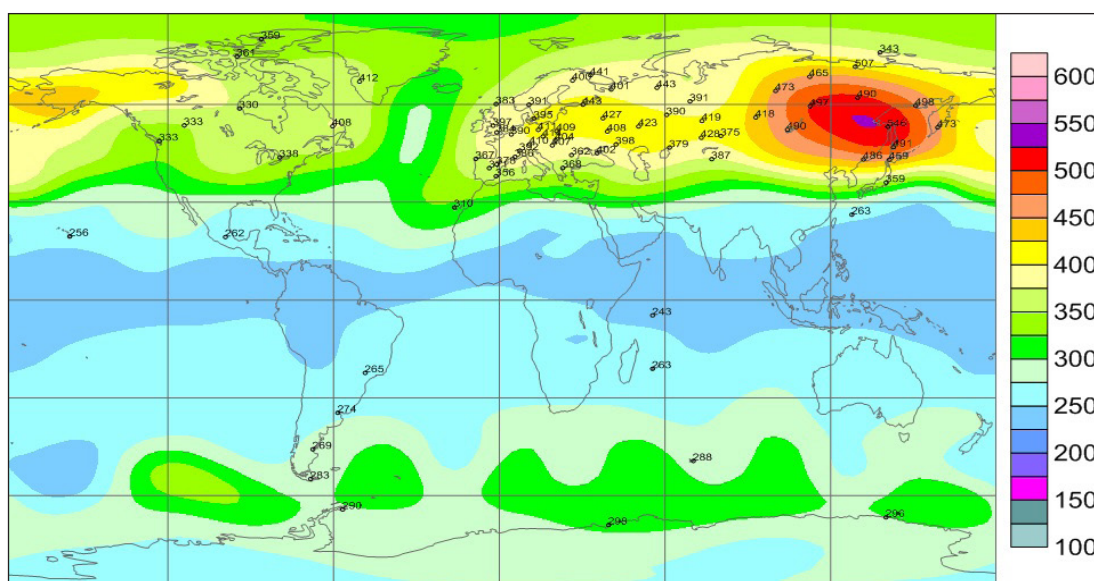


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

En la Figura 6 se observa el mapa mensual global correspondiente al mes febrero de 2018 y en ella se muestra, para el caso específico de Perú, que el comportamiento de ozono continua siendo menor en todo el país con valores entre 225 UD y 250 UD.

**FIGURA N° 6**

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

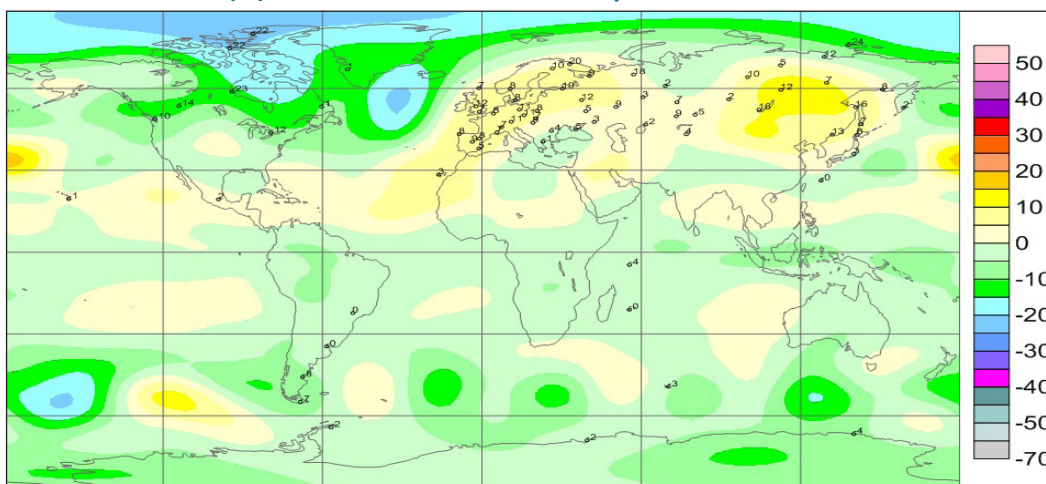


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

En cuanto a la desviación media del mes, para el caso de Perú, los valores de ozono estuvieron casi siempre dentro de sus concentraciones normales, pero con una anomalía negativa en gran parte del país con valores de 5%, mientras que en la región sur oriental las desviaciones negativas han estado en el orden de 10%. Ver Figura 7.

#### FIGURA N° 7

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

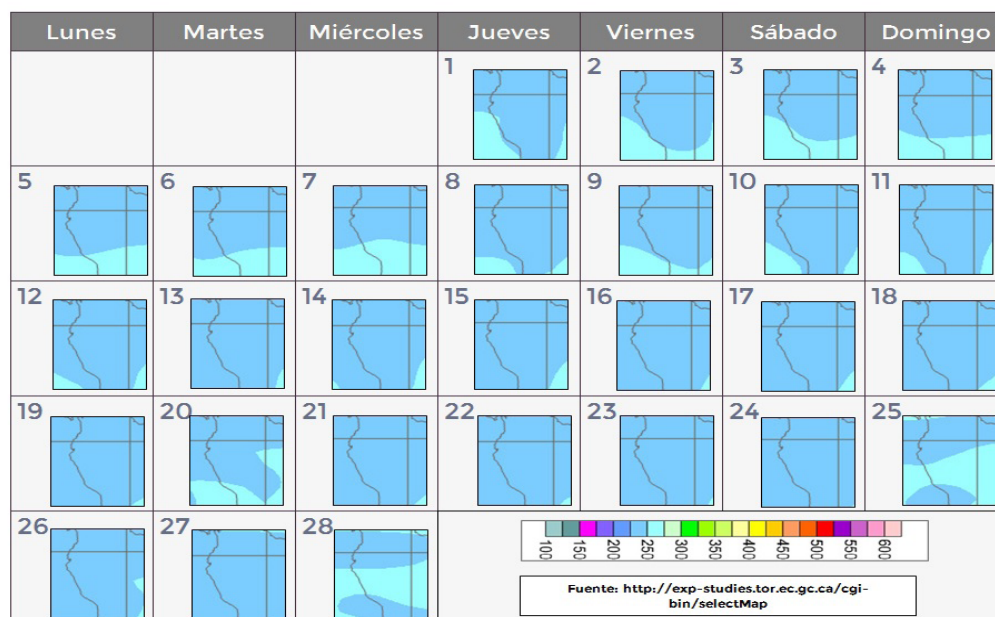


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

Se debe recalcar que la información (datos) proveniente del satélite AURA plataforma OMI, en este mes de febrero, muestra concentraciones relativamente menores 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 mantuvieron registrando valores bajos casi todo el mes (Figura 8) con valores que oscilaron entre 225 UD y 250 UD.

En los análisis, se observó que en este mes existe cierta variabilidad en el comportamiento del ozono atmosférico, para el caso de nuestro país, quizás porque la escala de colores abarca intervalos gruesos de 25 UD cada una. Sin embargo por consideraciones generales se ha observado que la disminución de ozono ha continuado en todo el país, a excepción de los días 3, 4, 5, 6, 7, 25 y 28 de febrero, donde los valores han sido relativamente altos., tal es así que casi el 70% de días del mes las concentraciones de ozono estuvieron oscilando entre 225 UD y 250 UD abarcando todo el país. El otro 30% de días del mes, tuvieron valores de ozono con concentraciones entre 250 UD y 275 UD.

**FIGURA N° 8****Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de febrero 2018**

## TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATOSFERA

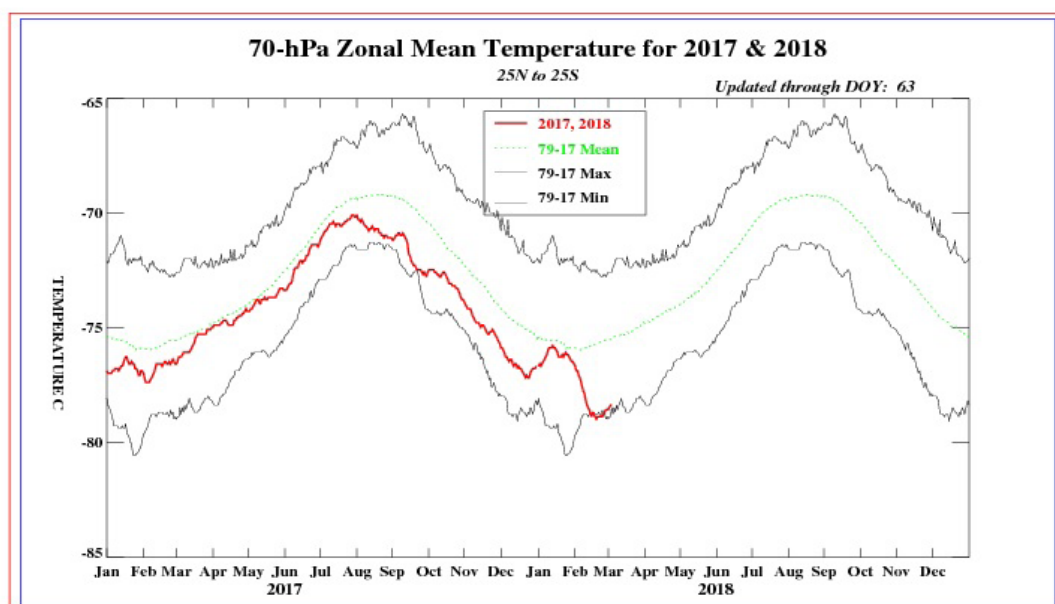
Finalmente es importante considerar que lo que pase en la atmósfera baja tiene, a veces, su impacto en la atmósfera alta o viceversa, y para poder entender la variabilidad del ozono atmosférico es importante conocer cómo es el comportamiento temporal de la temperatura en dichos niveles. Por ello se requiere 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 (2016 - 2017) hasta el mes de febrero, 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) se encuentra bastante alejada de su valor normal (línea de color verde), durante todo el mes de febrero. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel es de -75.6°C (algo similar al mes de enero), pero los calculados en este mes de febrero del presente año tienen un promedio mensual de -77.6°C (2.0 grados por debajo de su promedio histórico), pero siempre dentro del intervalo entre los valores máximos y mínimos (líneas de color oscuro) aunque el valor registrado en este mes, especialmente en la segunda quincena del mes se acercaron demasiado al valor mínimo e incluso en algunos días hasta se pasaron de este valor (mucho menor). Esto nos indicaría, una tendencia a la disminución de la concentración de ozono en este nivel.

**FIGURA N° 9**

**Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de febrero 2018**



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

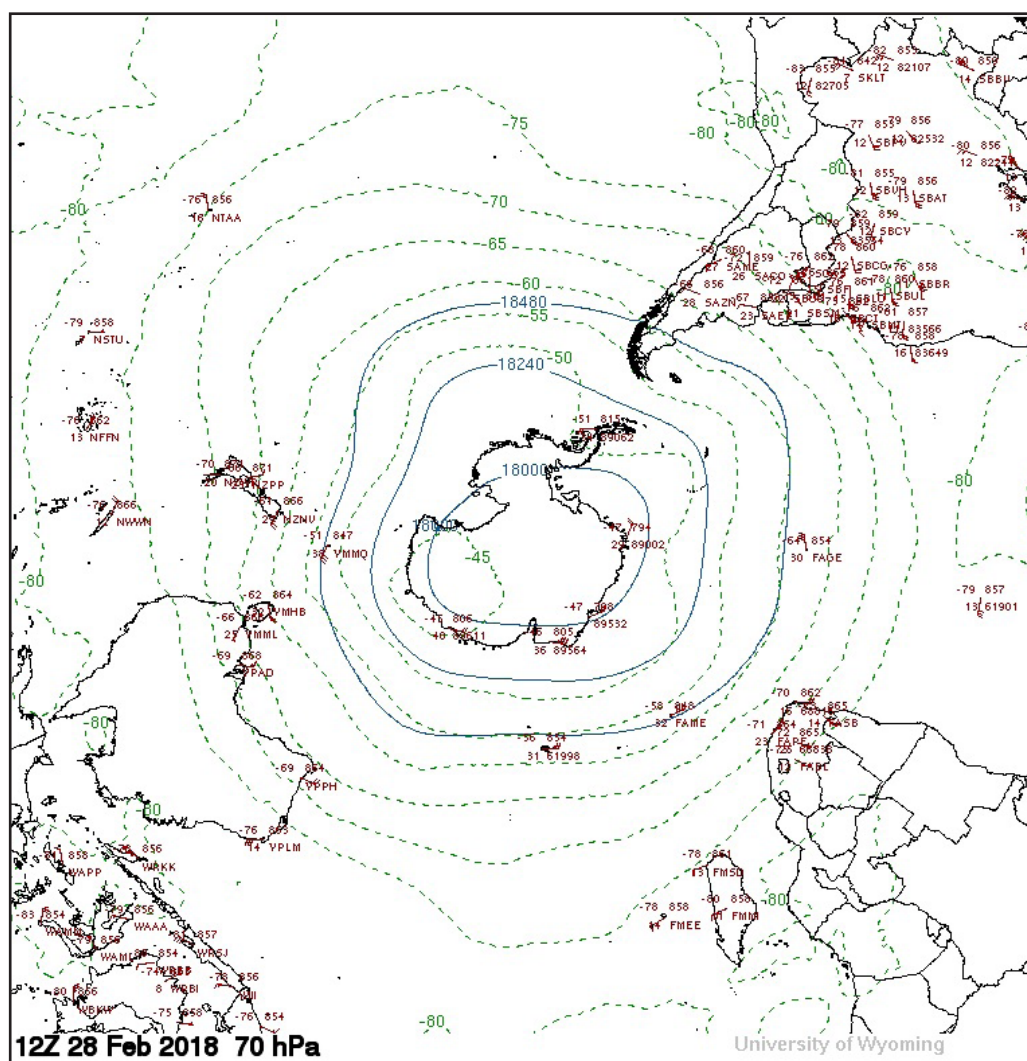
A nivel del comportamiento de temperaturas en el nivel de 70 hPa considerando todo el hemisferio sur (Figura 10) en un día típico del mes de febrero, se puede mencionar que las temperaturas en el continente antártico han oscilado entre  $-43^{\circ}\text{C}$  a  $-45^{\circ}\text{C}$  en promedio debido a la formación de mayor cantidad de ozono atmosférico así como al factor astronómico (mayores reacciones fotoquímicas), mientras que las temperaturas más bajas se encuentran en gran parte de América del Sur cercanas a la línea ecuatorial ( $-80^{\circ}\text{C}$  en promedio) el cual tiene relación con una cierta estabilidad de concentraciones de ozono en latitudes bajas.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel registran valores de  $-80^{\circ}\text{C}$  similar a lo mostrado en el mes de enero. En la figura 9 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 (disminución de la concentración).



**FIGURA N° 10**

**Comportamiento de la temperatura en 70hPa para el Hemisferio Sur (28 de febrero 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 febrero, varía desde valores altos en las primeras horas de la mañana 246.9 UD hasta valores relativamente bajos en horas cercanas al mediodía (240.1 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 y por ende se presentan mayores actividades fotoquímicas trayendo como consecuencia la disminución 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, permite que se incremente (aunque en pocas cantidades) la concentración de este gas en esas horas.
3. En cuanto a la variación temporal (promedio diario) de la concentración ozono se puede mencionar que durante este mes de febrero osciló entre 240.5 UD a 244.1 UD (valor mínimo superior al mes de enero y valor máximo similar al mes anterior). Estos valores, comparados con el promedio diario multianual, podemos determinar que son bajos, en el orden de 0.8 UD. La presencia de sistemas propios de la estación astronómica de verano y el incremento de la intensidad de la radiación solar, ha permitido una inestabilidad de algunos patrones climáticos, sin dejar de lado algunos sistemas atmosféricos que estarían trasladando cierta cantidad de masas de aire con contenido de ozono desde el hemisferio norte hacia el hemisferio sur (circulación de vientos a nivel de 70 hPa en dirección nor-este a sur-oeste).
4. La información de ozono proveniente del satélite AURA plataforma OMI, en este mes de febrero, estuvo ligeramente por debajo de los 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 febrero (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 225 UD a 250 UD (durante gran parte del mes), principalmente en la región norte y central de nuestro país.
6. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que hasta el mes de febrero del

.....

presente año los valores continuaron por debajo de su normal climatológica durante todo el mes, pero con una mayor amplitud. En promedio su normal climática es de aproximadamente  $-75.6^{\circ}\text{C}$ , pero resulta que en este mes registró un valor promedio de  $-77.6^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, valor físico por debajo de su normal en  $2.0^{\circ}\text{C}$ , lo cual nos hace pensar que a nivel de alta atmósfera como que la concentración de ozono no estaría absorbiendo la radiación ultravioleta motivo por el cual baja, aún más, la temperatura.

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. José Silva Cotrina

[jsilva@senamhi.gob.pe](mailto:jsilva@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 abril 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)