

Marzo 2018  
vol. 03

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



# Introducción

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 refrigeradoras, congeladoras, 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 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).



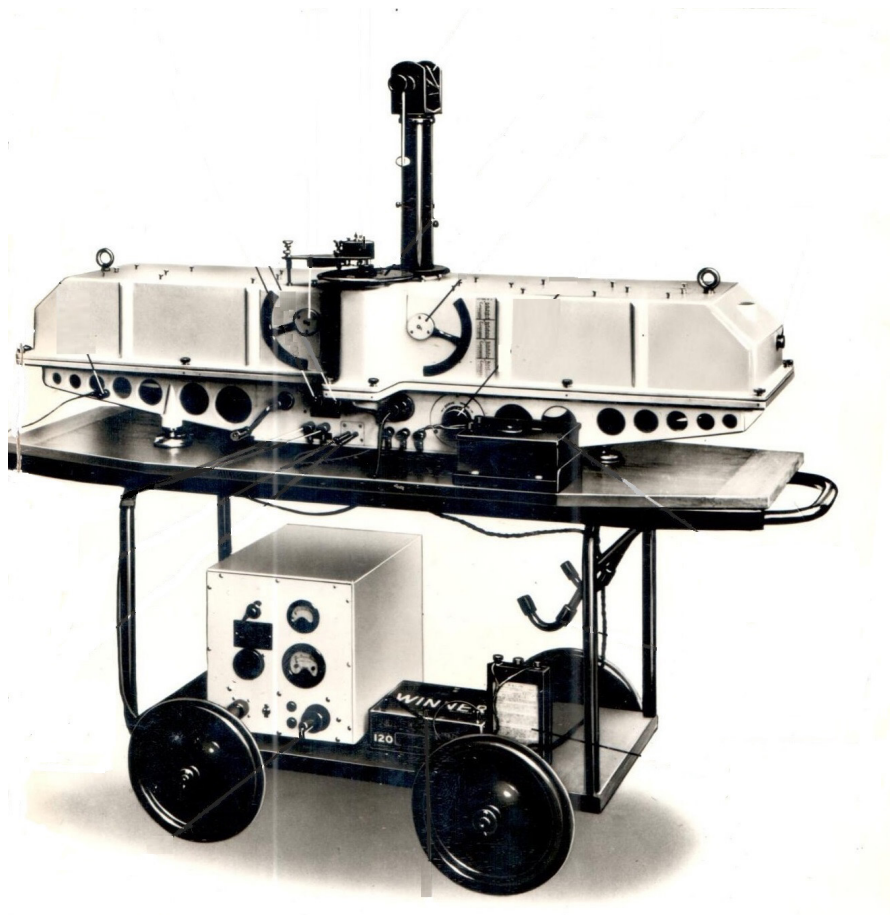
---

# 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 (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 marzo 2018 en la estación de Vigilancia Atmosférica Global de Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario - diario en general, estuvo oscilando entre 238.1 UD y 248.6 UD.

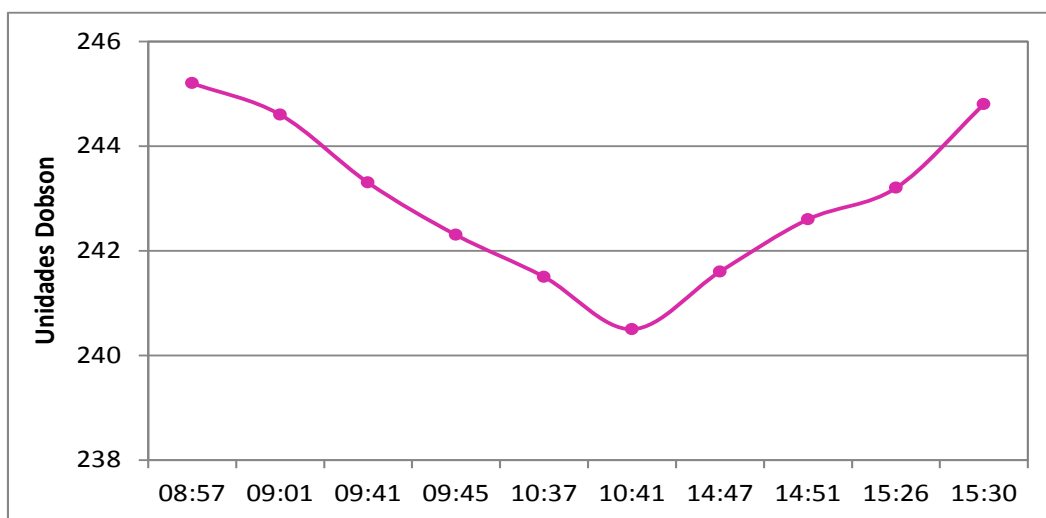
La Figura 2 muestra un ejemplo típico del comportamiento horario del ozono atmosférico para un día del mes de marzo. En las primeras horas del día las concentraciones de ozono son altas y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía los valores empiezan a disminuir para luego en horas 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).

Se debe mencionar que en este mes las condiciones de tiempo atmosférico continúan siendo influenciados por sistemas característicos de la temporada de verano pero con una ligera tendencia a la presencia de otros sistemas por el inicio de la estación de otoño lo cual permite que la radiación solar incidente tiende aún a ser de forma indirecta o difusa mayormente y cuando se tiene cielo despejado permite que los procesos fotoquímicos continúen siendo dinámicos.

**FIGURA N° 2**

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

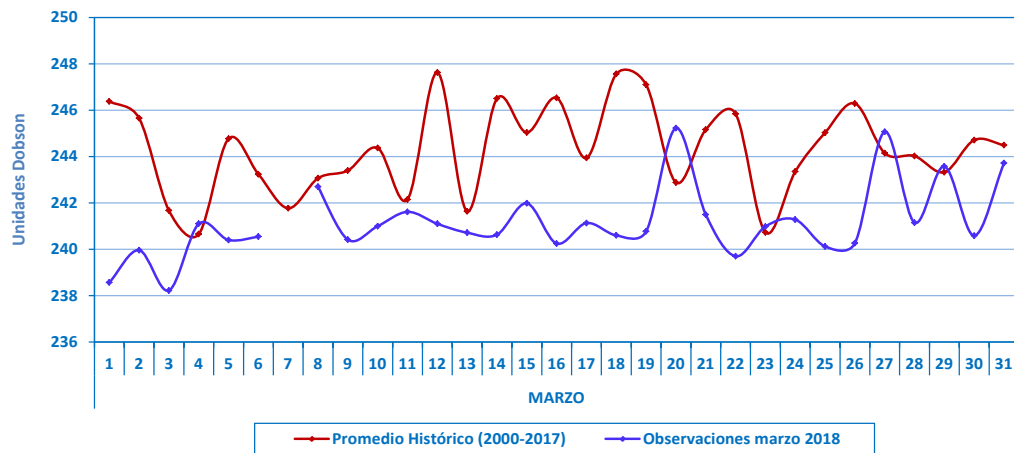


A nivel promedio diario, la concentración de ozono atmosférico estuvo oscilando entre 238.2 UD y 245.2 UD (Figura 3. Línea de color azul). Se debe resaltar, que en este periodo (diario), casi toda la información de ozono estuvo por encima de los 240.0 UD, a pesar de ello, continúan siendo ligeramente 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. 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, a nivel de 70 hPa, han continuado registrándose vientos del este, nor este y en algunos casos del norte los cuales han permitido un ligero incremento en la concentración de ozono en nuestro país con respecto al mes anterior.

### FIGURA N° 3

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



Asimismo se ha observado que los valores diarios de ozono durante el mes de marzo 2018, se han incrementado en forma ligera con respecto al mes de febrero, han continuado comportándose de una manera bastante variable, dado de que casi en el 83% 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).

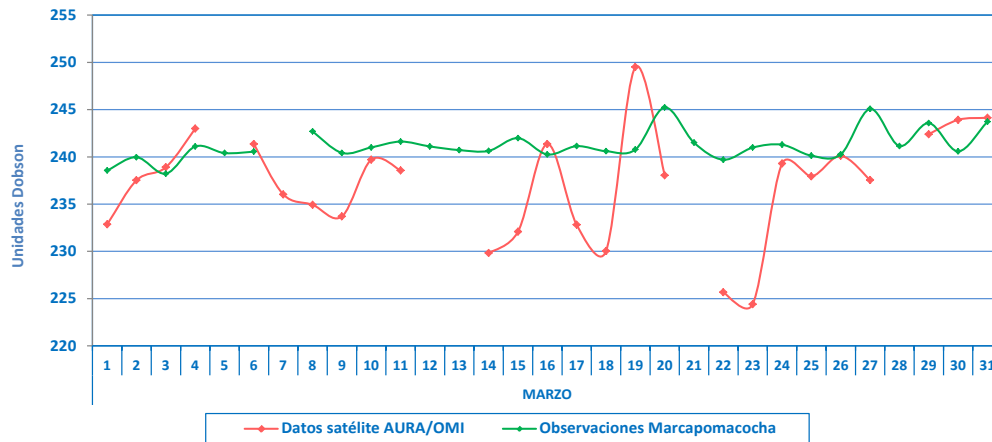
Las desviaciones negativas entre lo observado y el histórico osciló entre -0.5 UD a -7.8 UD (intervalo mayor al mes de febrero), lo cual nos permite saber que las concentraciones de ozono diario han ampliado su margen de desviación en el mes de marzo del presente

Al realizar la comparación de los datos de ozono atmosférico provenientes del satélite AURA (Plataforma OMI) con lo observado en superficie, se puede notar un desfase entre ellos. Durante el 60% de días del mes de marzo los valores de ozono diario medidos con el Espectrofotómetro Dobson han estado por encima de lo registrado por el satélite AURA/OMI y el otro 40% por debajo, tal como se puede apreciar en la Figura 4.



**FIGURA N° 4**

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



Del análisis realizado a las concentraciones de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha considerando solo los meses de marzo de 2001 hasta 2017, se ha notado una disminución cercano a 3.0 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 a la altitud y la baja concentración de ozono influenciado además por factores astronómicos (<http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-30.pdf>).

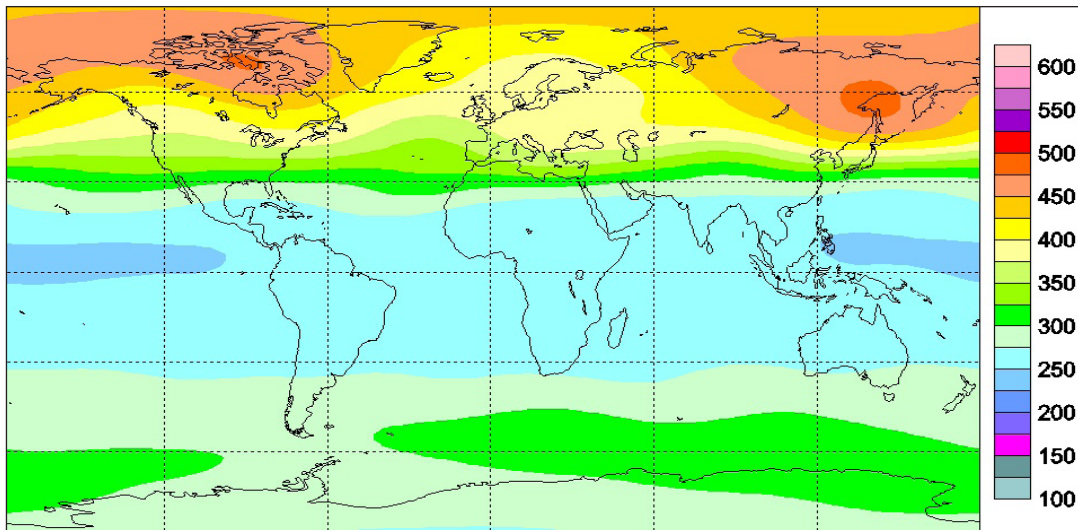
Se debe considerar que la disminución de las concentraciones de ozono se debería en parte a que en la atmósfera aún continúan persistiendo elementos que disminuyen su concentración (como por ejemplo los HCFC) aunados a factores como circulación de la atmósfera y transporte de masas de aire.

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

- En la Figura 5 se observa el mapa climático (1978 - 1988) de ozono total atmosférico global para el mes de marzo, donde se muestra que las concentraciones más bajas a nivel global se registran en el Océano Pacífico entre los 20°S y 20°N con valores que oscilan entre 225 UD - 250 UD.

**FIGURA N° 5**

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

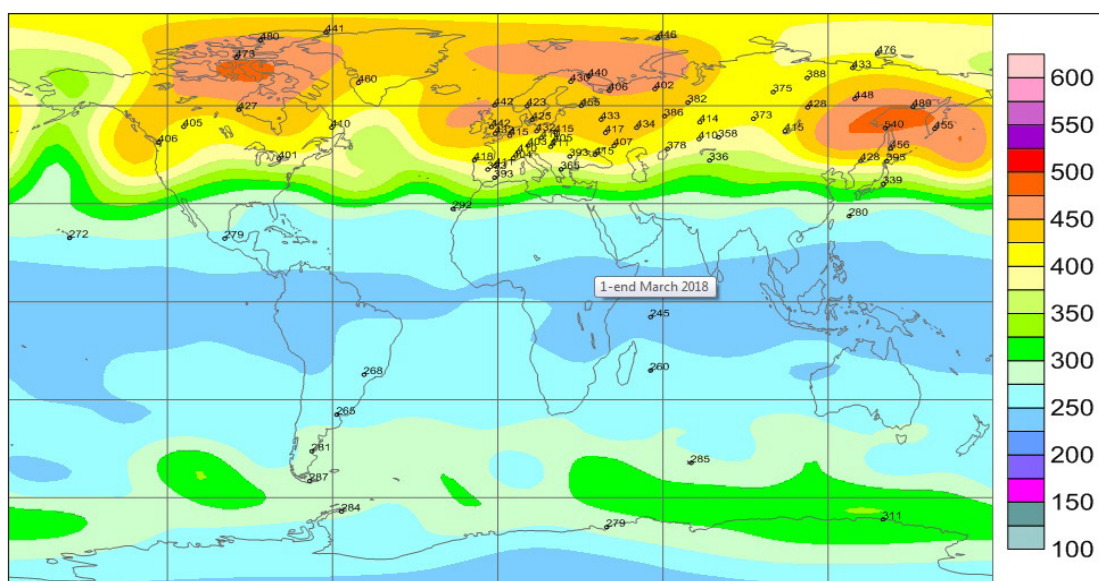


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- En la Figura 6 se observa el mapa mensual global correspondiente al mes de marzo de 2018 y en ella se muestra, para el caso específico de Perú, que el comportamiento de ozono continua siendo menor, al igual que el mes pasado, 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 marzo 2018**

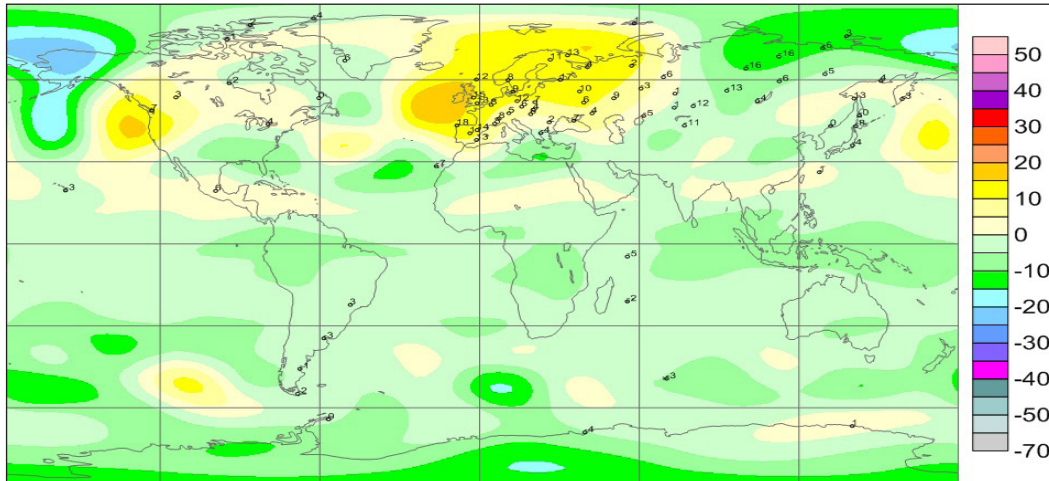


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- 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 con valores de 5% a 10%. Ver Figura 7.

#### FIGURA N° 7

#### Desviación Media (%) del ozono total atmosférico para el mes de marzo 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 marzo, 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 en gran parte del mes (Figura 8) con concentraciones que oscilaron entre 225 UD y 250 UD.

Durante el presente mes se mantiene la 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 4, 15 y del 25 al 31 de marzo, donde los valores han sido relativamente altos, tal es así que casi el 60% de días del mes las concentraciones de ozono estuvieron oscilando entre 225 UD y 250 UD abarcando todo el país. El otro 40% 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 marzo 2018



## TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATOSFERA

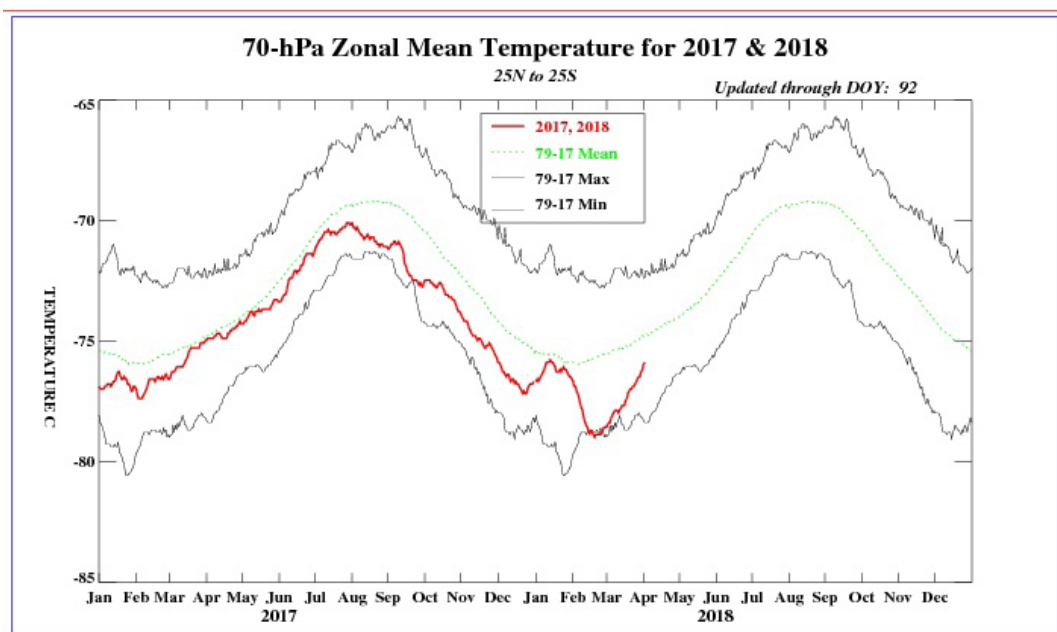
Finalmente es importante considerar que lo que pase en la atmósfera baja tiene, a veces, su impacto en la atmósfera alta o viceversa, y para poder entender la variabilidad del ozono atmosférico es importante conocer cómo es el comportamiento temporal de la temperatura en dichos niveles. Por ello se requiere 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 marzo, 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 una posición bastante alejada de su valor normal (línea de color verde), durante todo el mes de marzo. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel es de -75.0°C (ligeramente mayor al mes de febrero), pero los calculados en este mes de marzo del presente año tienen un promedio mensual de -77.1°C (2.1 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 al valor promedio. Esto nos indicaría, una tendencia al aumento de la concentración de ozono en este nivel.

## FIGURA N° 9

Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de marzo 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 marzo, se puede mencionar que las temperaturas en el continente antártico han registrado valores en el orden de  $-50^{\circ}\text{C}$  en promedio debido a la disminución paulatina de la intensidad de la radiación solar el cual permite una disminución de la temperatura en dicha región. Mientras que en la región tropical o latitudes bajas las temperaturas se incrementan ligeramente traduciéndose en un incremento de la concentración de ozono.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel continúan registrando valores de  $-80^{\circ}\text{C}$  similar a lo mostrado en el mes de febrero. 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 (ligero aumento de la concentración en este mes a partir de la segunda quincena).



---

### III.-CONCLUSIONES

1. El comportamiento horario de la concentración de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha, en el mes de marzo, varía desde valores altos en las primeras horas de la mañana 248.6 UD hasta valores relativamente bajos en horas cercanas al mediodía (238.1 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. 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, durante este mes de marzo osciló entre 238.2 UD a 245.2 UD (valor mínimo inferior al mes de febrero y valor máximo superior al mes anterior). Estos valores, comparados con el promedio diario multianual, podemos determinar que son bajos, en el orden de 3.0 UD. La presencia aún de sistemas propios de la estación astronómica de verano, ha permitido el ingreso el traslado de 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 y de norte a sur).
4. La información de ozono proveniente del satélite AURA plataforma OMI, en este mes de marzo, 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 marzo (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 casi la mitad del mes) en todo nuestro país, mientras que a partir de la segunda mitad mayormente, los valores han estado oscilando entre 250 UD y 275 UD.



- 
6. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que hasta el mes de marzo del presente año los valores continuaron por debajo de su normal climatológica durante todo el mes y con una mayor amplitud. En promedio su normal climática es de aproximadamente  $-75.0^{\circ}\text{C}$ , pero resulta que en este mes registró un valor promedio de  $-77.1^{\circ}\text{C}$  aproximadamente, valor físico por debajo de su normal en  $2.1^{\circ}\text{C}$ , lo cual nos hace pensar que a nivel de alta atmósfera como que la concentración de ozono no estaría absorbiendo la radiación ultravioleta como se piensa, 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 mayo 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)