



PERÚ

Ministerio  
del Ambiente

# Boletín mensual Vigilancia del Ozono Atmosférico en la estación VAG Marcapomacocha

Enero 2017

Vol.01



## I.-INTRODUCCION

La capa de ozono, benigna protectora de la tierra cada día decrece, por efecto aun de las sustancias químicas hechas por el hombre, tales como los clorofluorocarbonos (CFCs). Hoy la comunidad internacional es tan solo un espectador que año a año ve como desaparece nuestra capa de ozono a través de los informes sobre su disminución y sobre comprometedores incrementos de radiación ultravioleta-B el cual acarrea daños acumulados en diversos organismos.

El Perú como país miembro del Protocolo de Montreal, está reduciendo poco a poco el consumo de los CFCs 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 unos 50 años más se incremente la concentración de ozono en la atmósfera debido a la aplicación del Protocolo y sus enmiendas.

## II.- 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.

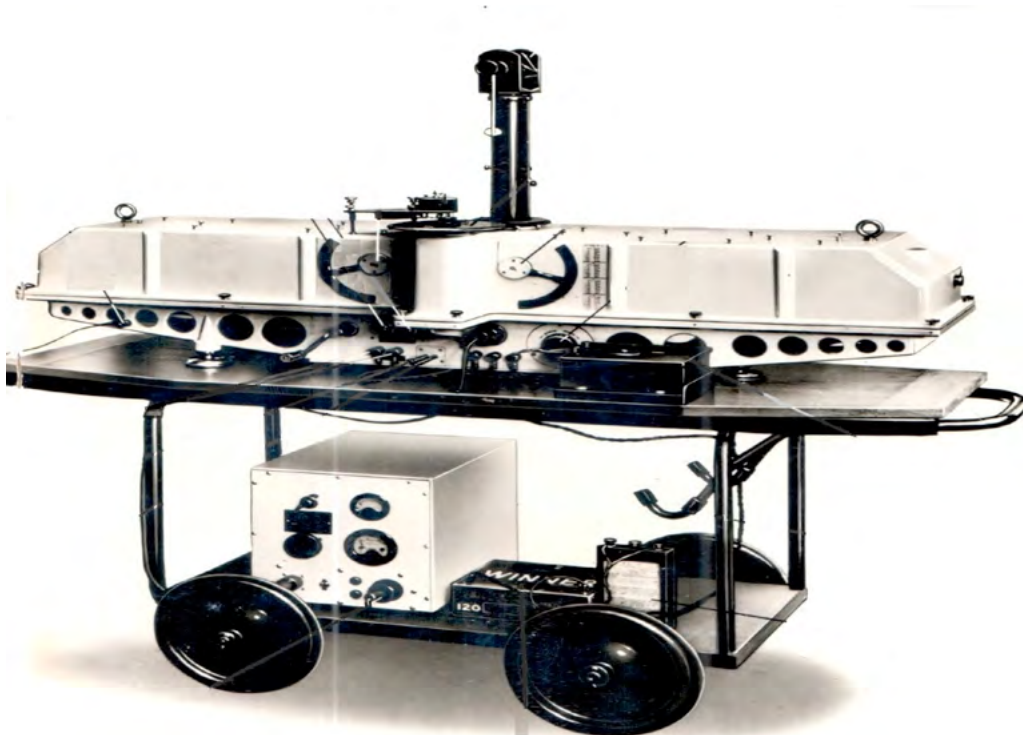
En el futuro (año 2018) la estación VAG de Marcapomacocha también podrá realizar mediciones de algunos gases de efecto invernadero como por ejemplo CO<sub>2</sub> y Carbono negro (hollín).

### III.- 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 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 SATELITE

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.

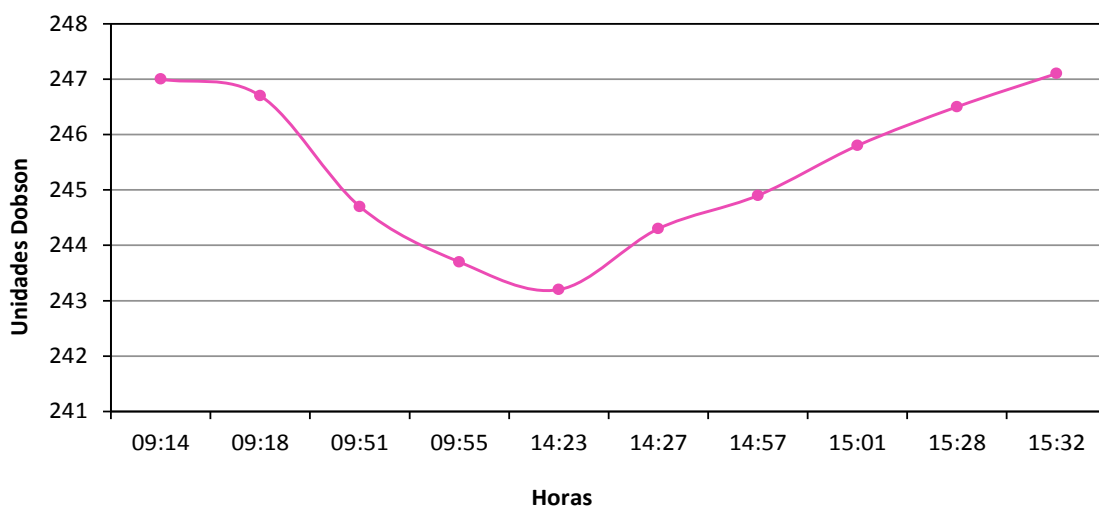
## IV.-RESULTADOS.

Del monitoreo realizado durante el mes de enero 2017 en la estación de Vigilancia Atmosférica Global de Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario – diario en general, estuvo oscilando entre 236 UD y 244 UD.

La figura 2 muestra un ejemplo típico del comportamiento horario del ozono atmosférico para un día del mes de enero. 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.

Este proceso físico 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 permite una reducción del ozono y en horas de la tarde a medida que el sol va llegando al ocaso las concentraciones de ozono vuelven a incrementarse. Este comportamiento también va a depender de otros factores como los ambientales y meteorológicos.

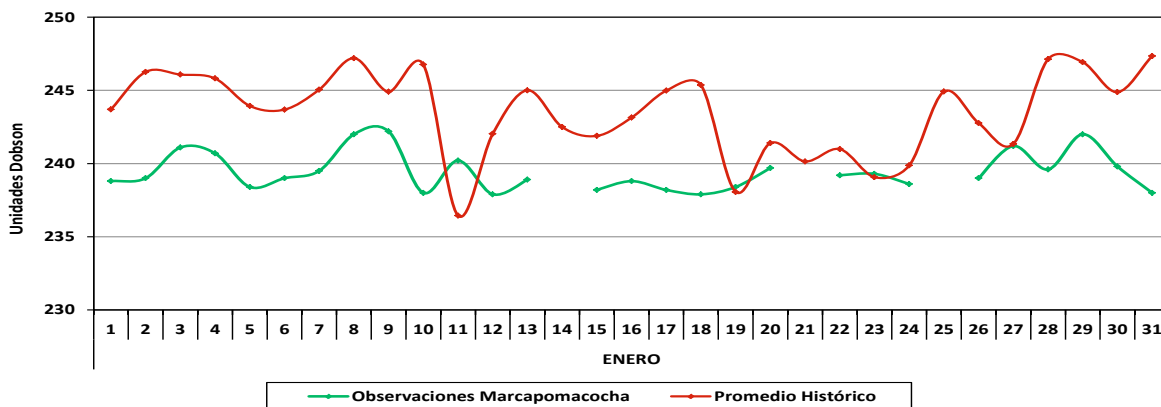
**Figura 2. Comportamiento horario típico de ozono atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha. 20 de enero de 2017.**



Por otro lado a nivel promedio diario la concentración de ozono atmosférico estuvo oscilando entre 237.9 UD y 242.2 UD (Figura 3 Línea de color verde). Se debe resaltar, que en este periodo, la mayor cantidad de datos de ozono estuvo por debajo de los 240 UD.

Climáticamente, enero es considerado como uno de los meses en donde se registra menor concentración de ozono atmosférico en esta parte de nuestro país. 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 grandes cantidades de ozono los cuales a lo largo de los meses lo van redistribuyendo hacia latitudes mayores

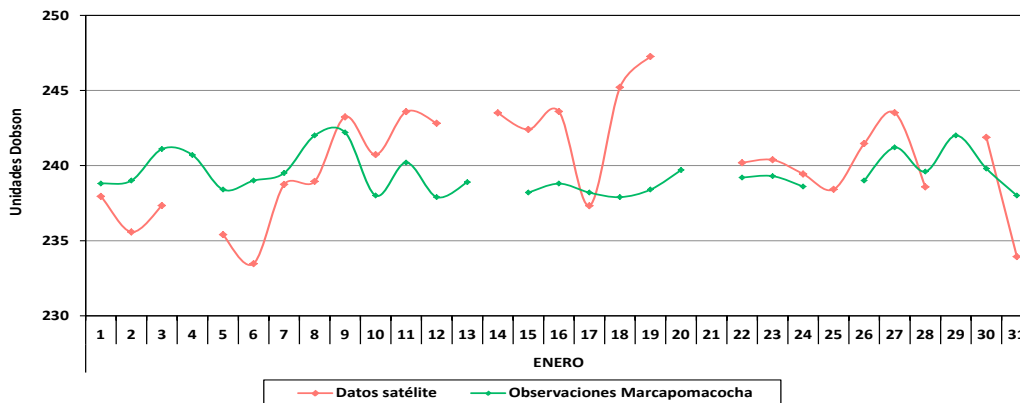
**Figura 3. Variabilidad temporal de la concentración de ozono atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha. Mes de enero de 2017.**



Por otro lado se ha observado que los valores de ozono durante el mes de enero 2017 son inferiores a los promedios históricos diarios registrados (2001 – 2016), tal como se puede apreciar en la Figura 3 (línea de color rojo). En algunos días los valores han sido similares. Las desviaciones entre lo observado en este mes y el histórico oscila entre 2 UD a 8 UD lo cual nos hace pensar que las concentraciones de ozono de un tiempo a esta parte, han disminuido.

Asimismo, al realizar la comparación de los datos de ozono atmosférico provenientes del satélite AURA (Plataforma OMI) con lo observado en superficie, se puede observar una cierta similitud, en cuanto al comportamiento diario. Para algunos periodos de días el comportamiento es bastante similar concluyendo que los datos de ozono generados en superficie son parecidos a los registrados por el satélite. En otros periodos de días como por ejemplo la primera quincena del mes los valores no son tan parecidos. Ver Figura 4.

**Figura 4. Comparación de ozono atmosférico proveniente de satélite versus información de superficie durante enero 2017.**

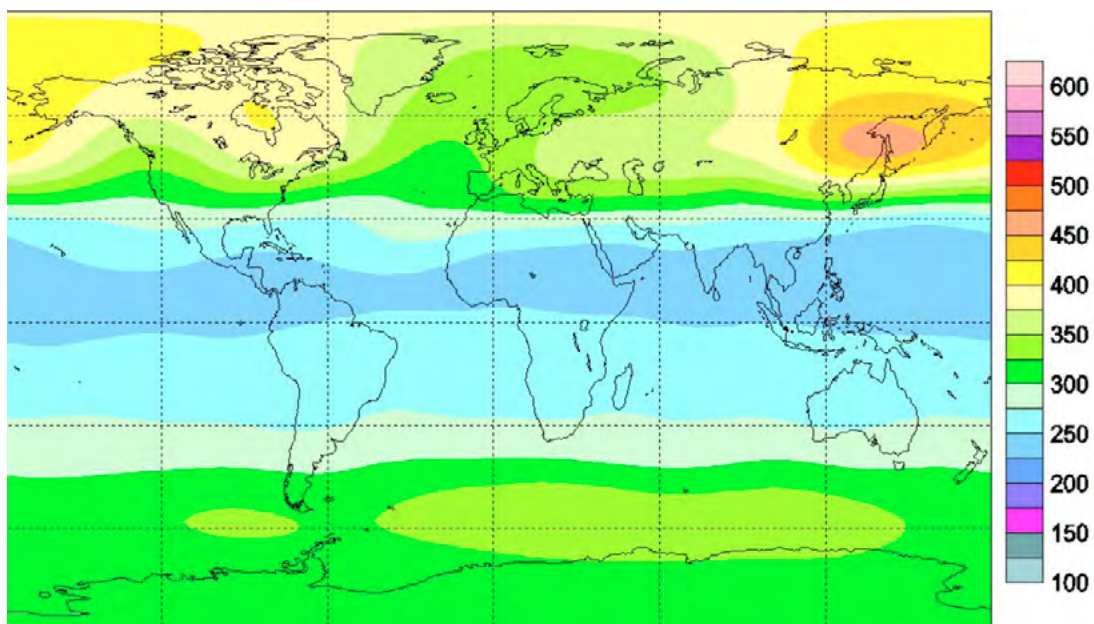


Del análisis realizado a las concentraciones de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha desde el mes de marzo de 2001 hasta el mes de enero de 2017, se ha notado una disminución de casi 08 UD., lo cual se traduciría en un ligero incremento en los niveles de radiación ultravioleta, por lo menos en esta región de nuestro país.

La disminución de las concentraciones de ozono se debería en parte a que en la atmósfera aún continúan persistiendo elementos que disminuyen su concentración aunados a otros factores ambientales y meteorológicos (circulación y transporte de masas de aire por ejemplo).

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 enero, donde las concentraciones bajas de ozono se encuentran en la faja correspondiente a las latitudes 5° S - 25°N con valores entre 225 UD a 250 UD. Prácticamente el departamento de Tumbes es la región donde las concentraciones de ozono son bajas. En gran parte de nuestro país por el contrario, de acuerdo al mapa, tendríamos mayores concentraciones de ozono.

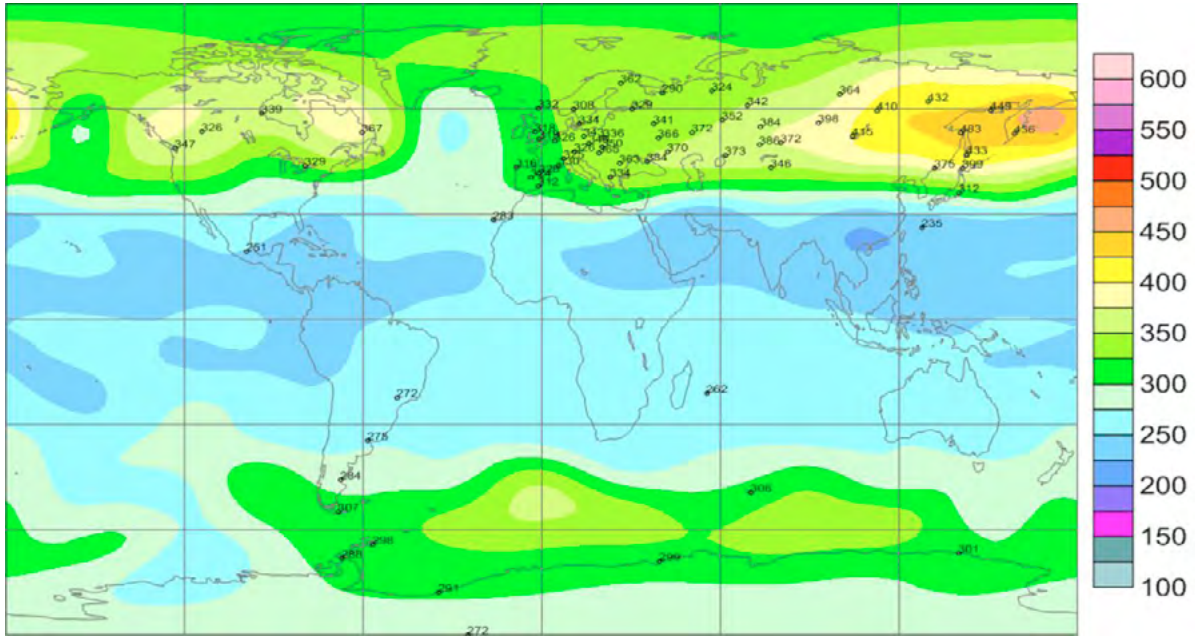
**Figura 5. Mapa Climático de ozono total atmosférico (1978 – 1988) para el mes de enero**



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

Ahora bien, en la Figura 6 se observa el mapa mensual global correspondiente al mes enero de 2017 y en ella se muestra un desdoblamiento de la faja de ozono (225 UD – 250 UD) por la región de África del Norte mostrándonos mayores concentraciones de ozono (250 UD – 275 UD), mientras que para el caso peruano se observa una ampliación de cobertura de ozono pero con concentraciones bajas (225 UD – 250 UD) en comparación con el mapa climático donde muestra valores más altos.

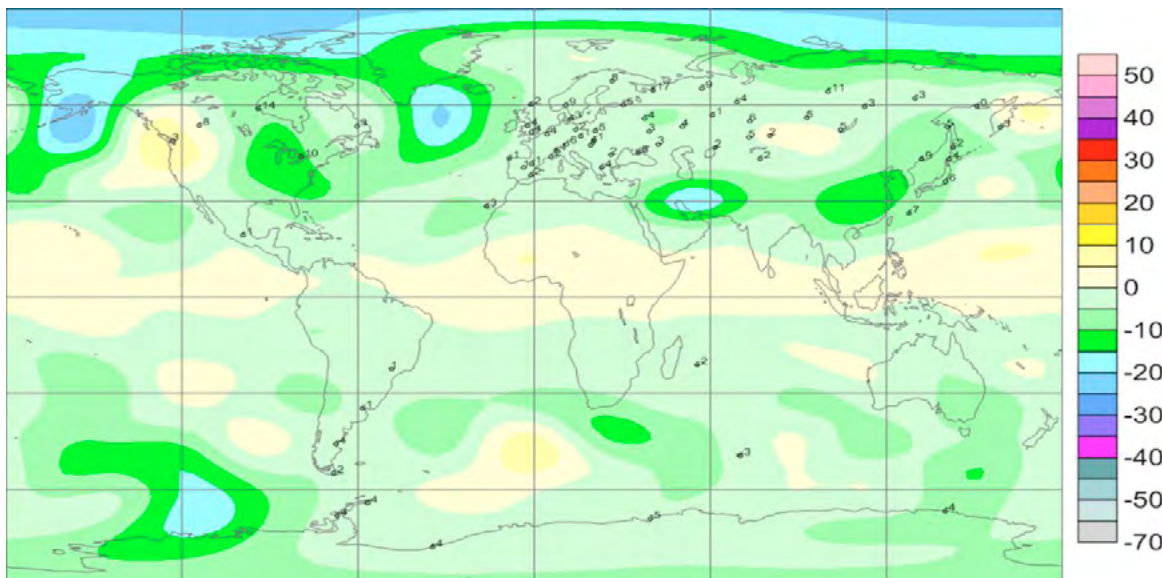
**Figura 6. Mapa de ozono total atmosférico para el mes de enero 2017**



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

Por otro lado se puede mencionar que en cuanto a la desviación media del mes, los valores de ozono estuvieron por debajo de lo que normalmente se debió registrar en este mes, con valores entre 1 UD y 10 UD. Ver Figura 7

**Figura 7. Desviación Media (%) del ozono total atmosférico para el mes de enero 2017**

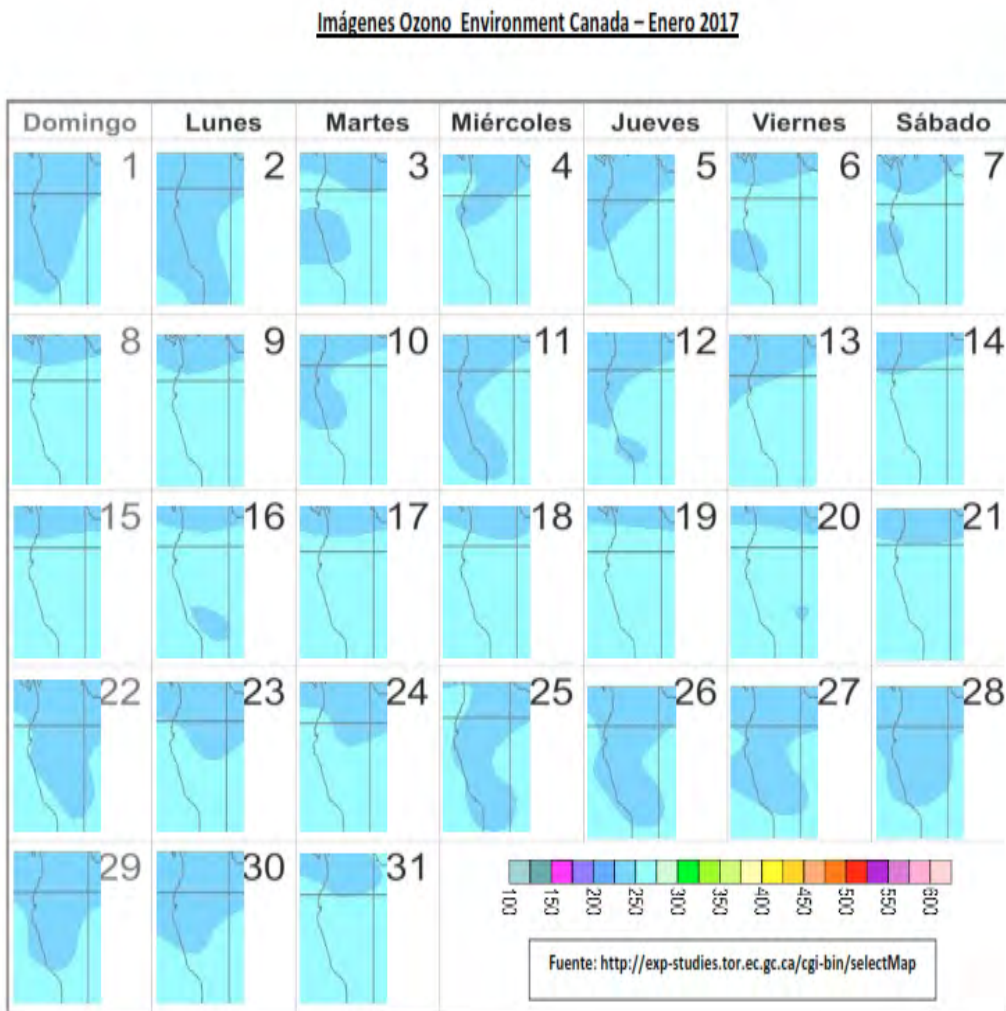


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

En cuanto al análisis en forma diaria podemos mencionar que para el caso de nuestro país, las concentraciones de ozono atmosférico registrados han sido bajas (Figura 8). En gran parte del mes las concentraciones de ozono atmosférico registrados estuvieron por encima de 250 UD., mientras que en el resto de días, las concentraciones de ozono registraron valores entre 225 UD a 250 UD.

En este mes hay mucha variabilidad en el comportamiento del ozono producto de que los procesos atmosféricos en esta parte de la región tropical son muy cambiantes por la gran inestabilidad que tienen las masas de aire.

**Figura 8. Mapa diario del ozono total atmosférico para el mes de enero 2017**





## TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATOSFERA

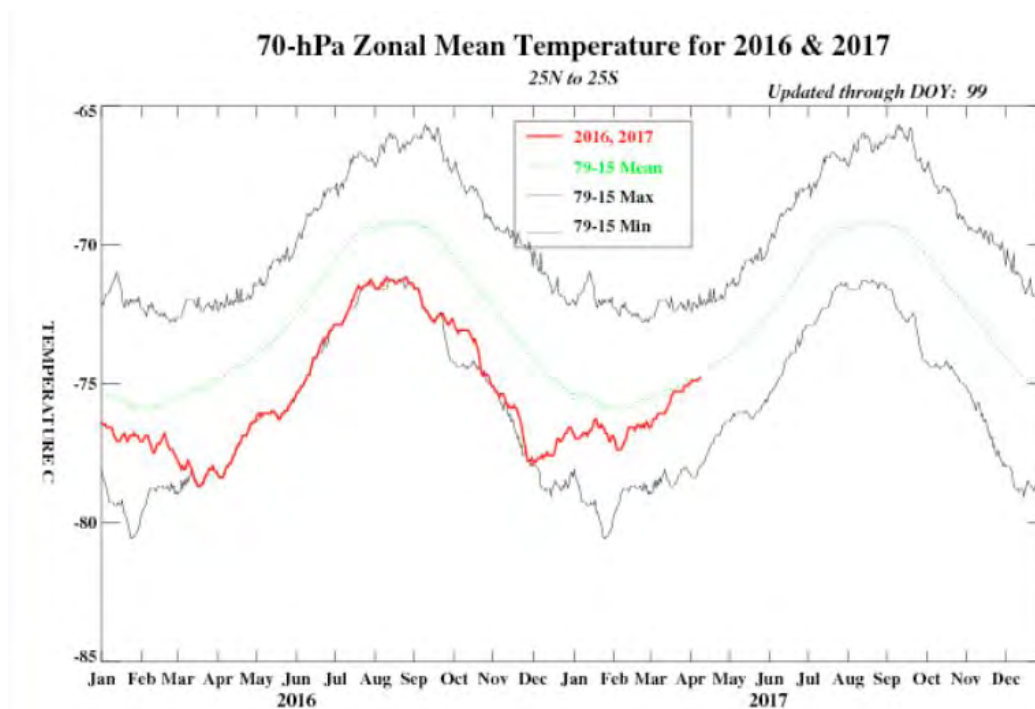
Finalmente es muy importante considerar que lo que pase en la atmósfera baja tiene, a veces, su inicio en la atmósfera alta y para poder entender la variabilidad del ozono es de suma importancia conocer cómo se distribuye la temperatura en dichos niveles. Por ello se requiere el analizar lo que pasa 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.

En la figura 9 se muestra la distribución temporal de la temperatura (2016 – 2017) durante el mes de enero, al nivel de 70 hPa y entre las latitudes 25°S – 25°N.

En ella se observa claramente que la temperatura (línea de color rojo) ha estado por debajo de su promedio histórico (línea de color verde) pero dentro del intervalo entre los máximos y mínimos (acercándose mucho más a su extremo mínimo) lo cual nos indicaría, un cierto enfriamiento de la atmósfera en ese nivel y por lo tanto una disminución en la concentración de ozono total atmosférico.

**Figura 9. Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de enero 2017**



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

En niveles altos y para la franja ecuatorial, se pudo comprobar que la tendencia de la disminución de la temperatura es similar.

## V.- CONCLUSIONES

1. El comportamiento horario de la concentración de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha, en el mes de enero, varía desde valores altos en las primeras horas de la mañana aproximadamente 241 UD hasta valores relativamente bajos en horas cercanas al mediodía (238 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. En cuanto a la variación temporal (diaria) de la concentración ozono se puede mencionar que durante este mes enero osciló entre 238 UD a 242 UD, valores relativamente bajos para la temporada. Si estos valores, comparados con el promedio diario multianual, podemos determinar que son aún más bajos, en el orden de 8 UD. La actividad convectiva intensa en la Zona de Convergencia Intertropical permitiría un desplazamiento de masas de aire rico en ozono desde niveles de la tropósfera hacia la estratósfera. Por otro lado las sustancias agotadoras de ozono aún presentes en la atmósfera también estarían permitiendo el agotamiento del ozono total atmosférico en esta parte del continente.
3. La información de ozono proveniente del satélite AURA plataforma OMI tiene cierta homogeneidad con la información de superficie. Por temporadas, a veces tanto la información de superficie como la del satélite no coinciden debido a factores propiamente de la toma de datos por parte del satélite.
4. Los mapas de ozono total atmosférico, para el caso de nuestro país, muestran concentraciones que oscilan entre 225 UD a 250 UD. Si bien es cierto que la concentración de ozono total medido en superficie varía entre 238 UD a 242 UD, los mapas muestran un exceso de ozono en la mayoría de días del mes de enero.
5. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que hasta el mes de enero del presente año los valores han estado por debajo de su normal climatológica. En promedio su normal climática es de aproximadamente  $-75^{\circ}\text{C}$ , pero resulta que en este mes registró un valor promedio de  $-78^{\circ}\text{C}$ , menor en  $3^{\circ}\text{C}$ , lo cual nos hace pensar que a nivel de alta atmósfera existe una cierta disminución de la temperatura el cual está relacionada con la baja concentración de ozono total atmosférico en la franja de  $25^{\circ}\text{S} - 25^{\circ}\text{N}$ .
6. 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.

---

## Subdirección de Evaluación del Ambiente Atmosférico

### Responsables:

Ing. Orlando Ccora Tuya

Bach. Juan Tacza Ordoñez

Tco. Rosalinda Aguirre Almeyda

Tco. Julia Astudillo Capcha

---

Encuentra los últimos boletines de Vigilancia del Ozono Atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha en el siguiente link:

<http://www.senamhi.gob.pe/?p=0450>

---

Servicio Nacional de Meteorología e  
Hidrología del Perú - SENAMHI  
Jr. Cahuide 785 - Jesús María  
Lima 11 - Perú

Central Telefónica: [51 1] 614 -1414  
Unidad Funcional de Atención al ciudadano  
[51 1] 470-2867

Dirección de Meteorología y Evaluación  
Ambiental Atmosférica

Subdirección de Evaluación del Ambiente  
Atmosférico - SEA [51 1] 614-1414 anexo 444

