

Diciembre 2018
vol. 12

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



Introducción

La capa de ozono sigue sufriendo los estragos que ocasionan las sustancias contaminantes y que destruyen a ésta, como son los CFCs el cual contienen dentro de su composición química al Cloro, así como otras sustancias.

A la luz del sol estas sustancias reaccionan y se descomponen dejando libres al elemento cloro, las cuales interactúan con el ozono estratosférico destruyendo sus enlaces químicos para posteriormente disminuir su concentración.

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 CO₂ 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 = 10⁻⁹ 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 diciembre 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 253.7 UD.

La Figura 2 muestra un ejemplo típico del comportamiento horario del ozono atmosférico para un día del mes de diciembre. 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).

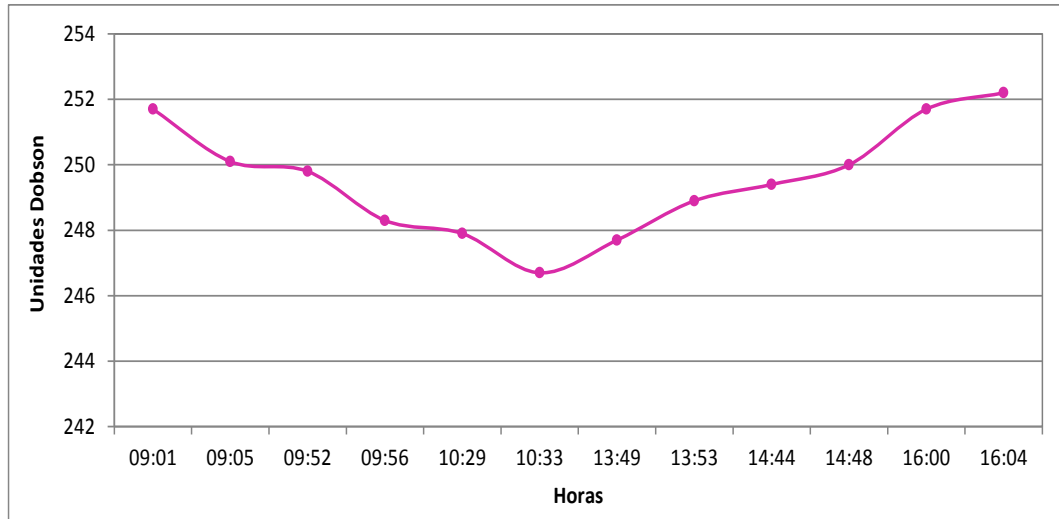
Este proceso físico, tal como se ha mencionado, se enmarca en que durante las mañanas la incidencia de la radiación ultravioleta es baja y por ende las concentraciones de ozono son relativamente altas, a medida que la intensidad de la radiación ultravioleta se incrementa en forma paulatina hacia el mediodía, 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 de ozono a nivel de tropósfera) y meteorológicos (transporte de ozono).

Cabe mencionar que en este mes se da inicio a la estación de verano en el hemisferio sur, tiempo en el cual se observa el incremento progresivo de las precipitaciones en la región andina, debido a la configuración estacional de la Alta de Bolivia (sistema de presión en altura) que incentiva el ingreso de flujos húmedos de la cuenca amazónica hacia la cordillera de los andes. Asimismo, las temperaturas en superficie a lo largo de la franja costera se han venido incrementando producto de algunos ingresos de vientos del norte. En niveles altos de la atmósfera (a nivel de 70 hPa) es característico, en este mes, vientos provenientes del este y en pocas cantidades del noreste que han permitido el traslado de masas de aire básicamente con dirección entre meridional y zonal permitiendo, en cierta manera, el ingreso de masas de aire de otras latitudes lo que ha traído como consecuencia un ligero aumento del ozono especialmente sobre nuestro país. Cabe remarcar que los sistemas atmosféricos como el APS (Anticiclón del Pacífico Sur), zona de convergencia intertropical se establecen mucho más hacia el hemisferio sur permitiendo que en gran parte de los días del mes, continúen presentándose buenas condiciones de tiempo principalmente en la costa peruana mientras que en

la sierra se van caracterizando condiciones de alta convección para dar paso a las lluvias.

FIGURA N° 2

Comportamiento horario típico de ozono atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha 13 de diciembre de 2018.

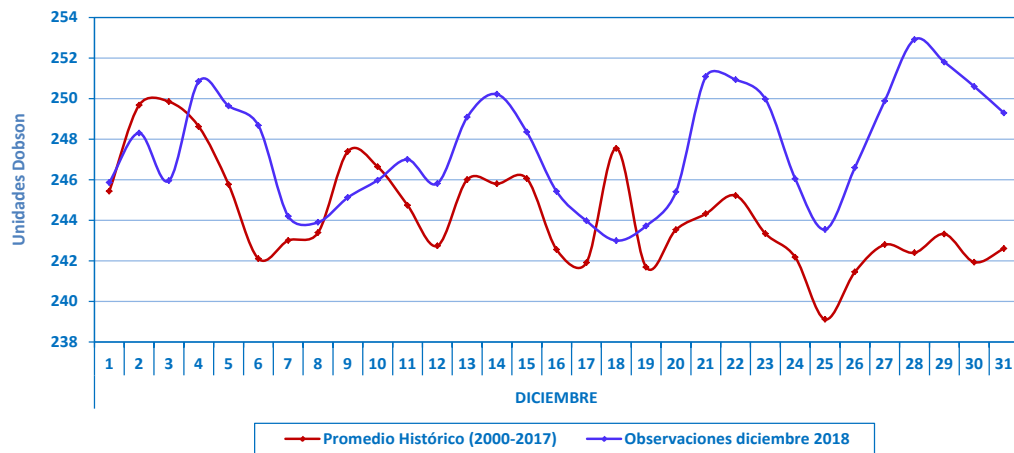


A nivel promedio diario, la concentración de ozono atmosférico estuvo oscilando entre 243.0 UD y 252.9 UD (Figura 3, línea de color azul). Se debe resaltar, que en este periodo (diario), casi toda la información de ozono estuvo por encima de los 243.0 UD, valores considerados, en gran parte del mes, por encima 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 en los meses de enero con valores de 242.2 UD y otro entre los meses de mayo y junio con valores de 240.7 UD y 241 UD respectivamente. En el presente mes de diciembre el valor promedio mensual fue 247.5 UD similar o ligeramente superior al mes anterior y superior a su promedio histórico en 5.5 UD. Si bien, 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 aportes de ozono provenientes de otras latitudes (especialmente del hemisferio norte).

FIGURA N° 3

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



Se ha observado que los valores diarios de ozono durante el mes de diciembre 2018, si bien, debieron de seguir disminuyendo de acuerdo a sus valores promedios de 16 años, estos se han incrementado con respecto al mes de noviembre. En el 84% de días del mes, los valores de ozono de este mes han estado por encima de sus promedios históricos, mientras que solo un 16% de datos de ozono han estado por debajo, tal como se puede apreciar en la Figura 3 (línea de color azul).

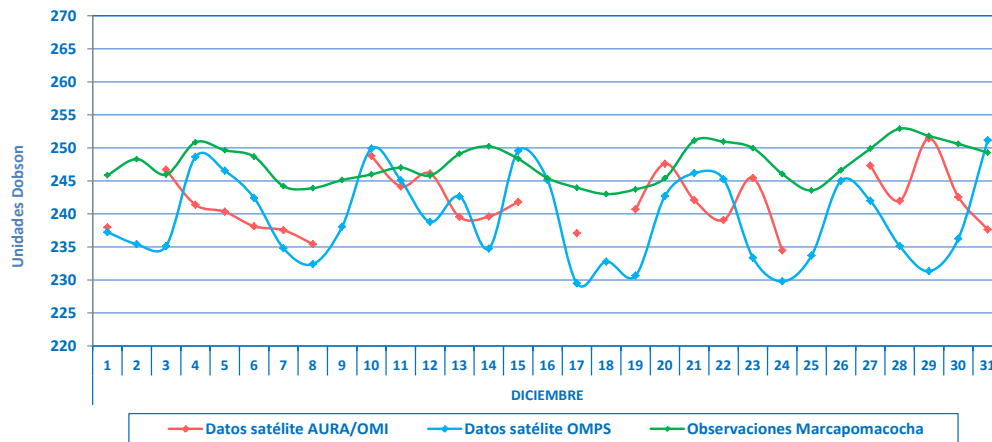
Las desviaciones positivas entre lo observado y el histórico osciló entre 1.0 UD a 10.0 UD, lo cual nos ha permitido saber que en el mes de diciembre se han registrado concentraciones de ozono mayores comparado a su valor normal.

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 desfase entre ellos. Durante el 84% de días del mes de diciembre los valores de ozono diario medidos con el Espectrofotómetro Dobson se encontraron por encima de lo registrado por el satélite AURA/ OMI, mientras que comparado con el satélite SUOMI se notó que el 94% de días estuvieron también por encima del mismo. Ver Figura 4.

De este análisis podemos decir que, en este mes, los dos satélites muestran valores de ozono menores a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson. Es importante notar una cierta tendencia al aumento en la concentración de ozono en la estación VAG Marcapomacocha.

FIGURA N° 4

Comparación de ozono atmosférico proveniente de satélite versus información de superficie durante diciembre 2018



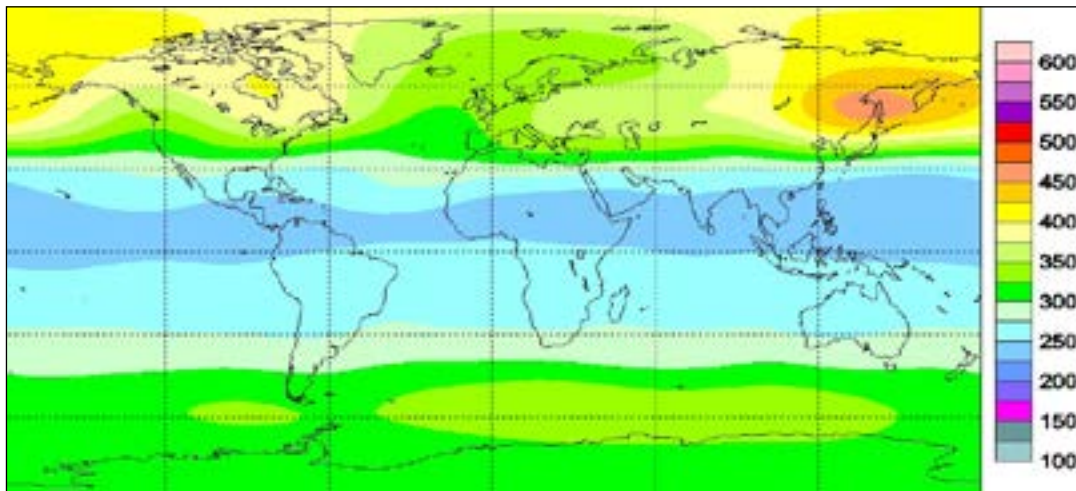
Del análisis realizado a las concentraciones de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha considerando solo los meses de diciembre de 2001 hasta 2017, se ha notado un aumento de 5.5 UD, lo cual se ha traducido, a pesar del incremento, en que los niveles de radiación ultravioleta se mantengan Extremadamente altos en este mes, por lo menos en esta región de nuestro país, debido el efecto de la altitud y a condiciones ambientales-meteorológicos. (<http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-36.pdf>).

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 diciembre, donde se muestra una mayor amplitud de concentraciones relativamente bajas a nivel global, entre las latitudes 0°- 25°N mayormente, con valores entre 225 UD - 250 UD, mientras que sobre nuestro país las concentraciones de ozono son altas con valores que oscilan entre 250 UD - 275 UD.

FIGURA N° 5

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

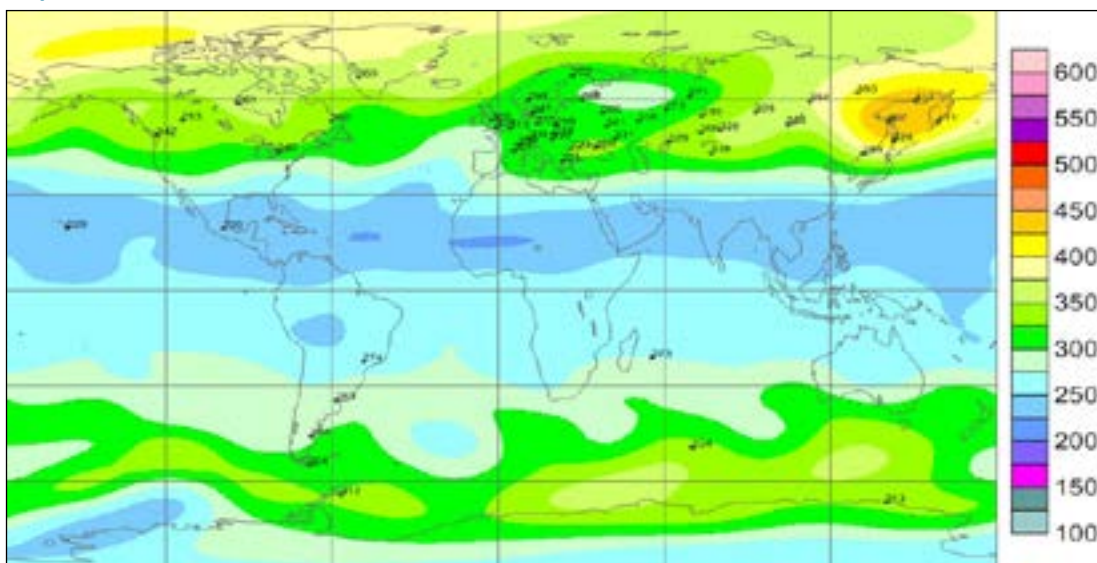


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- En la Figura 6 se observa el mapa mensual global correspondiente al mes de diciembre de 2018 y en ella se muestra, que entre la región sur del Perú, lado oeste de Bolivia y parte occidental de Brasil, un núcleo de concentraciones bajas de ozono con valores que oscilan entre 225UD - 250 UD. En otras regiones del país las concentraciones de ozono oscilan entre 250 UD - 275 UD, Al igual que en el mapa climático, en el presente mes las concentraciones de ozono bajas se mantienen entre las latitudes 0° - 30°N. En latitudes medias del hemisferio sur las concentraciones de ozono registraron valores superiores entre 275 UD - 335 UD. En la región antártica se observan concentraciones relativamente altas de ozono producto de un mayor intercambio de masas de aire con gran contenido de ozono.

FIGURA N° 6

Comparación de ozono atmosférico proveniente de satélite versus información de superficie durante diciembre 2018

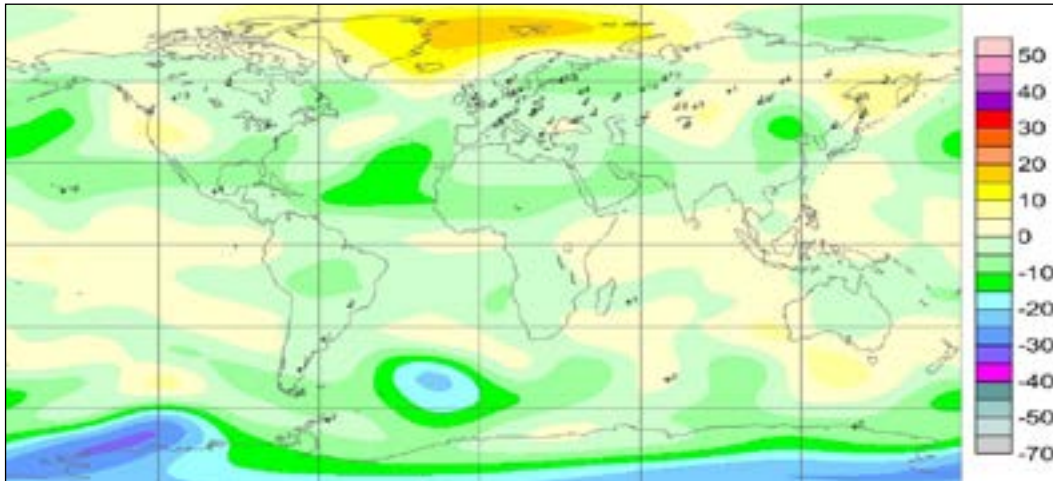


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- 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) entre la región sur del Perú, lado oeste de Bolivia y parte occidental de Brasil con valores de -10%, mientras que en otras regiones del país las anomalías estuvieron entre 1% - 5%. Ver Figura 7.

FIGURA N° 7

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



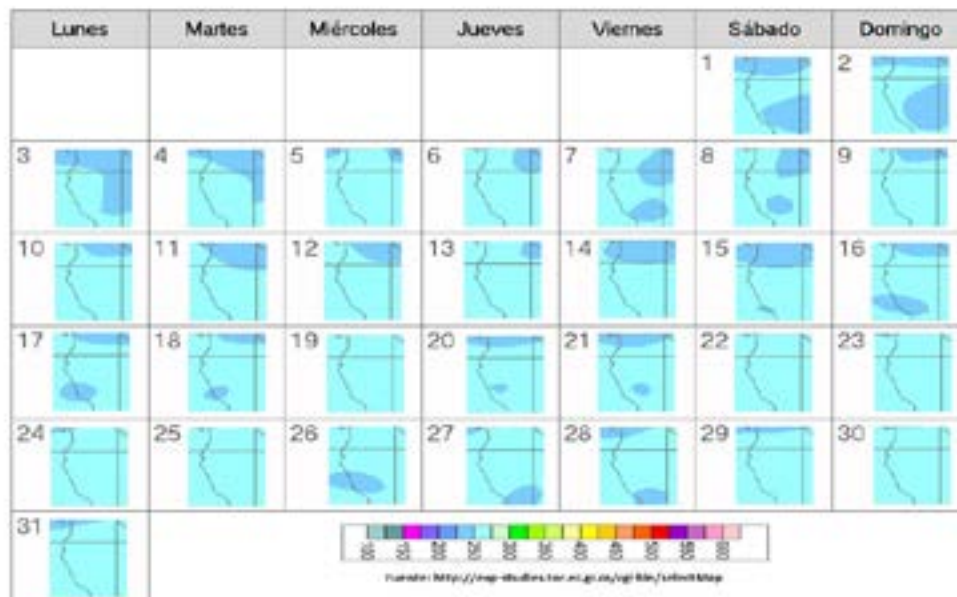
Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

La información (datos) proveniente de los satélites AURA plataforma OMI y SUOMI, en este mes de diciembre, muestran generalmente concentraciones 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 llegaron a mantener en gran parte del mes (Figura 8), concentraciones que oscilaron entre 250 UD y 275 UD (similar al mes de noviembre), mientras que, específicamente entre los días 1 y 2, 7, 8, 16, 17, 18, 26, 27 y 28 de diciembre se observaron núcleos con concentraciones de ozono bajas en la región sur del país.

FIGURA N° 8

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



TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATOSFERA

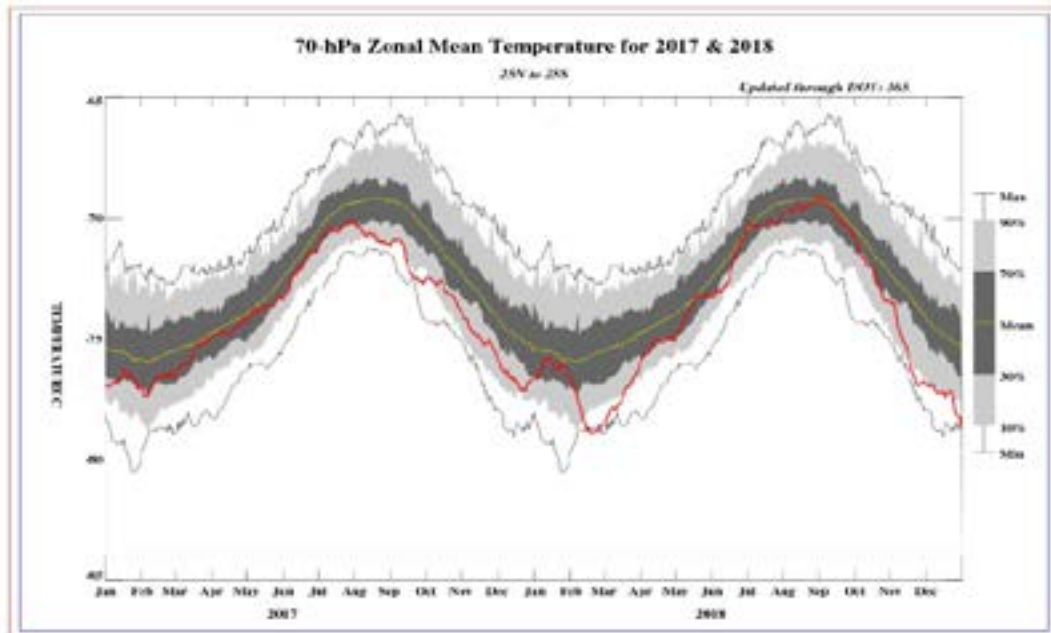
Finalmente es importante considerar que lo que pase en la atmósfera baja tiene, a veces, su impacto en la atmósfera alta o viceversa, y para poder entender la variabilidad del ozono atmosférico es importante conocer cómo es el comportamiento temporal de la temperatura en dichos niveles. Por ello se requiere 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 diciembre 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 mayor alejamiento con respecto a su valor normal (línea de color verde), en todo el mes. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel es de -74.6°C, menor ("más frío") al mes de noviembre, pero los calculados en este mes de diciembre del presente año tienen un promedio mensual de -77.5°C (2.9 grados por debajo de su promedio histórico), pero casi fuera del intervalo inferior, entre los valores al 10% y 30% de su variabilidad mensual (achurado de color plomo). En la última semana del mes los valores de temperatura estuvieron por fuera del límite de 10%.(fuera del intervalo inferior) Esto nos indicaría, que los valores de ozono, especialmente en la estratósfera baja, continúan disminuyendo comparados con los de la alta estratósfera en donde las temperaturas son altas.

FIGURA N° 9

Comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera para el mes de diciembre 2018



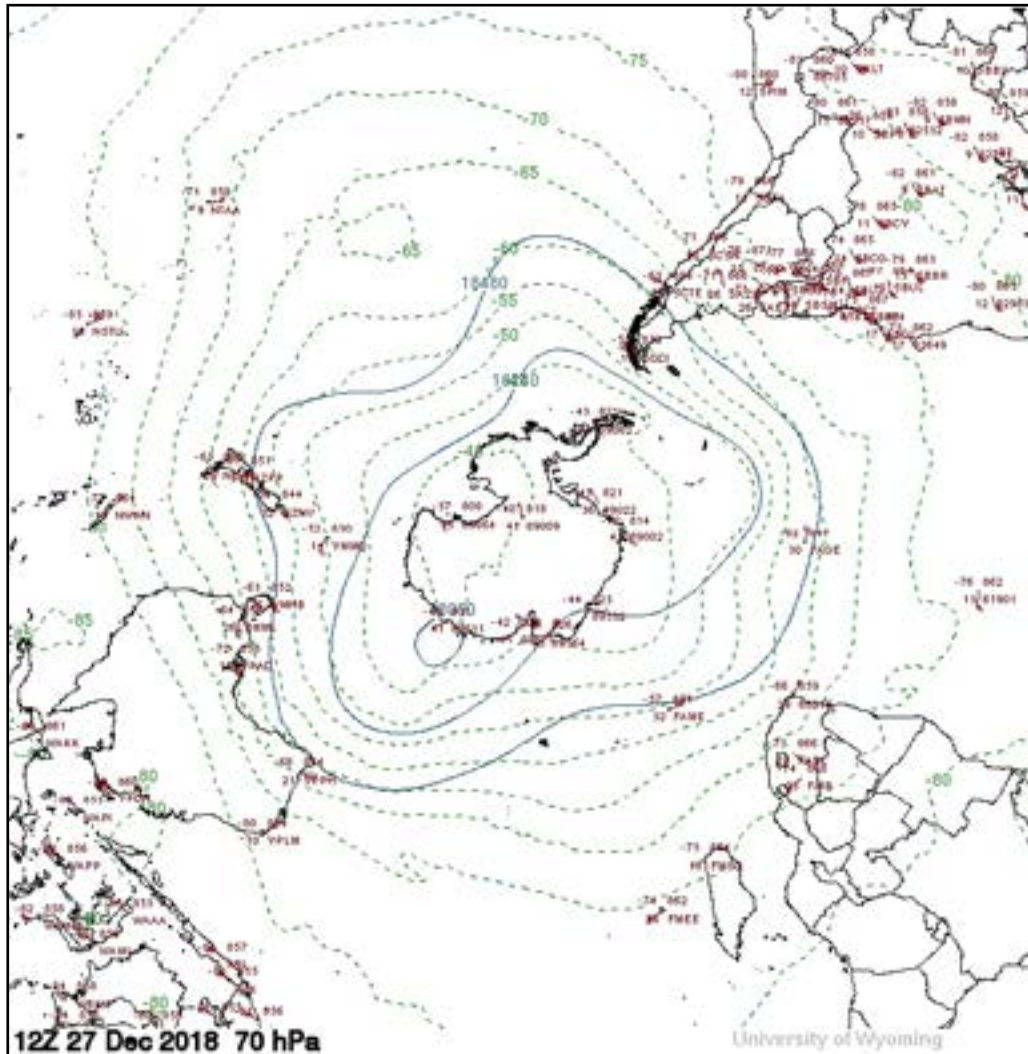
Fuente: National Weather Service, Climate Prediction Center (Web Site)

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 diciembre, se puede mencionar que las temperaturas en el continente antártico han registrado valores en el orden de -70°C a -60°C en promedio, debido al mayor aumento de la intensidad de la radiación solar el cual permite un ligero aumento de la temperatura en dicha región al mismo tiempo que los mecanismos para la poca persistencia del vórtice polar antártico van disminuyendo. En la región tropical o latitudes bajas las temperaturas han registrado valores relativamente bajos al mes pasado (-80.0°C aproximadamente) generando que las concentraciones de ozono sean menores al mes de octubre.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel han oscilado entre -75°C y -80°C inferior a nivel de masa de aire (masa fría) con respecto al mes de noviembre. 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.

FIGURA N° 10

Comportamiento de la temperatura en 70hPa para el Hemisferio Sur (27 de diciembre 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 diciembre, varía desde valores altos en las primeras horas de la mañana 253.7 UD (mayor 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 muy intensas, trayendo como consecuencia una 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 (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 diciembre osciló entre 243.0 UD a 252.9 UD (valor mínimo mayor al mes de noviembre en 0.8 UD y valor máximo también mayor al mes anterior en 1.5 UD). Estos valores, comparados con el promedio diario multianual, podemos determinar que son altos, en el orden de 5.5 UD. La presencia aún de sistemas propios de la estación astronómica de primavera interactuando ya con sistemas de la estación de verano como un mayor ingreso de masas de aire provenientes del hemisferio norte ha permitido estos incrementos en la concentración de ozono atmosférico en nuestro país. Estos flujos han tenido una dirección nor este a sur oeste.
4. La información de ozono proveniente del satélite AURA plataforma OMI y del SUOMI, en este mes de diciembre, estuvieron en gran parte por debajo de lo registrado en superficie. La respuesta o la tendencia de la concentración de ozono medido con el equipo Dobson ha sido al aumento especialmente en la tercera década del mes, debido a los flujos de aire en el nivel de 70 hPa. El comportamiento contrario se pudo observar en la información brindada por el satélite SUOMI.
5. Los mapas de ozono total atmosférico en el mes de diciembre (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 algunos días, especialmente en la región sur del país, mientras que en el resto del país las concentraciones oscilan entre 250 UD - 275 UD, lo cual guardaría cierta relación con lo observado en superficie.

6. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que hasta el mes de diciembre del presente año los valores continuaron muy por debajo de su normal climatológica específicamente durante todo el mes. En promedio su normal climática es de aproximadamente -74.6°C , pero resulta que en este mes registró un valor promedio de -77.5°C aproximadamente, valor físico por debajo de su normal en 2.9°C , lo cual nos hace pensar que a nivel de alta atmósfera (baja estratósfera) como que la concentración de ozono continua 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

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

.....
Próxima actualización: 15 de febrero de 2019



**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

