

Setiembre 2018
vol. 09

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



Introducción

En los años ochenta del siglo pasado se apreció por primera vez que la capa de ozono estaba disminuyendo comparado con sus valores climáticos, especialmente en la Antártida, debido a la liberación hacia la atmósfera de cantidades excesivas de clorofluorocarbonos (CFC). Estas sustancias fueron prohibidas en 1989 merced al Protocolo de Montreal y desde entonces la capa de ozono en la estratósfera superior se ha recuperado significativamente, particularmente en las regiones polares.

Sin embargo el ozono en la parte inferior de la atmósfera situada entre los 10 y los 14 kilómetros de altitud, se sigue deteriorando, especialmente en las latitudes tropicales y medias donde vive gran parte de la población mundial.

Según algunos estudios, la capa de ozono había disminuido en su máximo nivel de finales del siglo XX, un 5%. Una nueva investigación ha comprobado que ha perdido un 0.5% adicional en los últimos 30 años.

Hasta ahora no se había apreciado esta disminución adicional por el llamado “smog de verano”, que se produce en las ciudades debido principalmente al tráfico de vehículos, que genera entre el 50% y 70% de la contaminación urbana, cuando los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (COV's) reaccionan ante la luz solar produciendo una mezcla nociva de aerosoles y gases.

El smog de verano ha ocultado el declive estratosférico en las mediciones de satélite por lo que el deterioro adicional de la capa de ozono no ha podido ser detectado.

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 setiembre 2018 en la estación de Vigilancia Atmosférica Global de Marcapomacocha se observó que el comportamiento horario - diario en general, estuvo oscilando entre 242.9 UD y 256.0 UD.

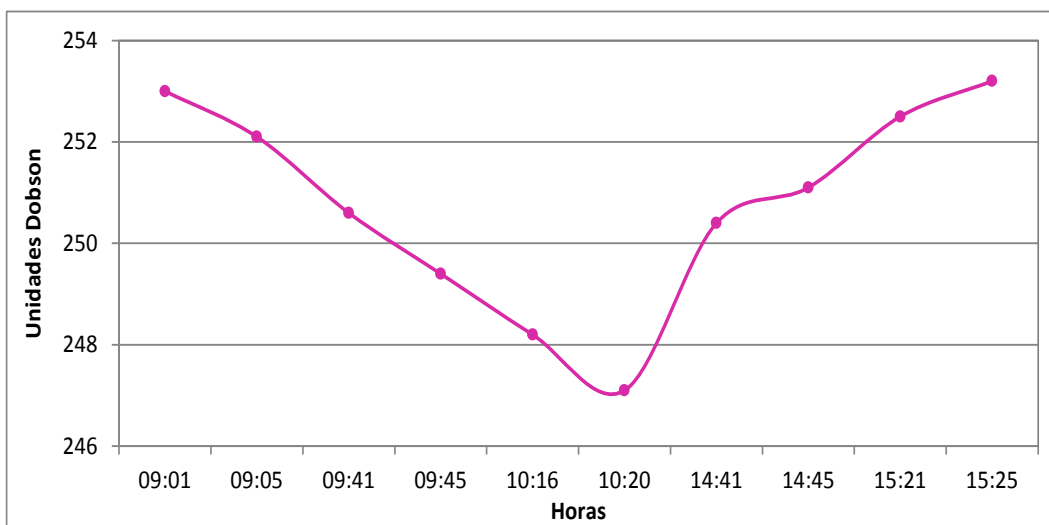
La Figura 2 muestra un ejemplo típico del comportamiento horario del ozono atmosférico para un día del mes de setiembre. En las primeras horas del día las concentraciones de ozono son altas y a medida que transcurren las horas hasta llegar al mediodía los valores empiezan a disminuir para luego en horas 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 han estado aún influenciados por sistemas característicos de la temporada de invierno, a pesar de que en la última semana del mes, se inició la estación de primavera. El sistema denominado Anticiclón del Pacífico Sur (APS) ha continuado intensificándose registrando presiones elevadas. Los sistemas denominados Altas Migratorias los cuales permiten el ingreso de masas de aire frías hacia el territorio peruano conocidos como friajes, han disminuido. En niveles altos de la atmósfera han sido característicos vientos provenientes del este y del hemisferio norte (baja estratósfera) que permiten, en situaciones, el traslado de masas de aire con algún contenido de ozono hacia latitudes del hemisferio sur, especialmente sobre nuestro país. Cabe remarcar que los sistemas atmosféricos como el APS, zona de convergencia intertropical empiezan, en forma paulatina, a desplazarse hacia el hemisferio sur, permitiendo que en algunos días continúen aun presentándose buenas condiciones de tiempo para la realización de mediciones de ozono.

FIGURA N° 2

Comportamiento horario típico de ozono atmosférico en la estación VAG de Marcapomacocha 04 de setiembre de 2018.

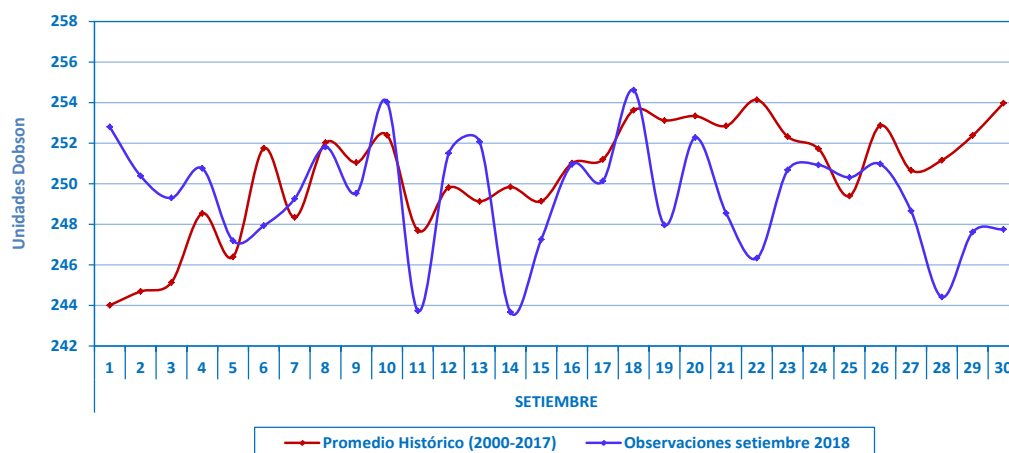


A nivel promedio diario, la concentración de ozono atmosférico estuvo oscilando entre 243.7 UD y 254.6 UD (Figura 3, línea de color azul). Se debe resaltar, que en este periodo (diario), casi toda la información de ozono estuvo por encima de los 244.0 UD, a pesar de ello, en todo el mes estos valores 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 setiembre el valor promedio mensual fue 249.4 UD muy superior al mes anterior e inferior a su promedio histórico en 1.7 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 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 setiembre de 2018.



Se ha observado que los valores diarios de ozono durante el mes de setiembre 2018, se han incrementado notablemente con respecto al mes de agosto, y continúan comportándose de una manera no tan 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), mientras que en el 30% de días del mes los valores han estado por encima de sus promedios diarios.

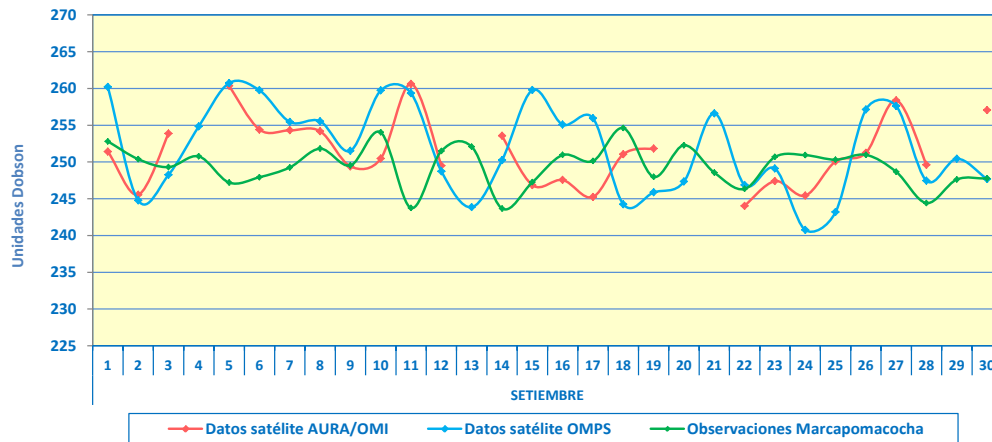
Las desviaciones negativas entre lo observado y el histórico osciló entre -0.2 UD a -7.8 UD, lo cual nos ha permitido saber que durante gran parte del mes de setiembre se han registrado concentraciones de ozono menores comparados a sus valores normales.

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 la prevalencia de un gran desfase entre ellos. Durante el 50% de días del mes de setiembre 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 70% 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 mayores a lo registrado por el Espectrofotómetro Dobson.

FIGURA N° 4

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



Analizando las concentraciones de ozono en la estación VAG de Marcapomacocha considerando solo los meses de setiembre de 2001 hasta 2017, se ha notado una disminución de 1.7 UD, lo cual se ha traducido en que los niveles de radiación ultravioleta se mantengan relativamente Muy altos en este mes, por lo menos en esta región de nuestro país, debido el efecto de la altitud. y las condiciones meteorológicas así como de la concentración de aerosoles (<http://www.senamhi.gob.pe/load/file/03202SENA-35.pdf>).

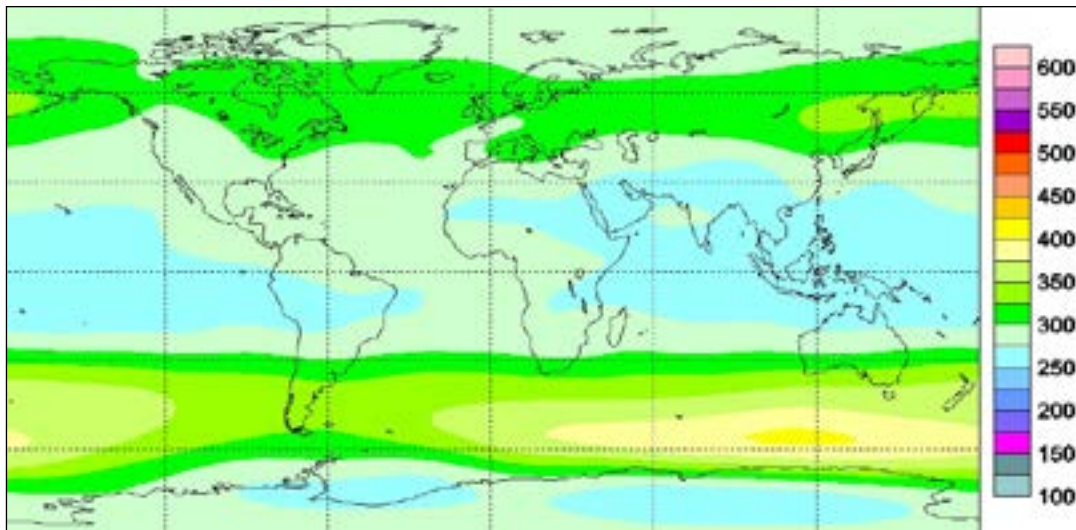
Se debe considerar que el aumento de las concentraciones de ozono en este mes, se debería en parte al inicio de la estación de primavera que permite una mayor intensidad de la radiación solar que llega a la superficie de la tierra, lo cual permite mayores procesos fotoquímicos. Así también estos aumentos se deben a factores como circulación de la atmósfera y transporte de masas de aire con contenidos de ozono de un hemisferio a otro, especialmente en la estratosfera baja.

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 setiembre, donde se muestra que las concentraciones se han incrementado a nivel global, a excepción de la región antártica donde los valores son los más bajos. A nivel de la región tropical los valores altos de ozono se han mantenido altos, con valores que oscilan entre 250 UD - 275 UD.

FIGURA N° 5

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

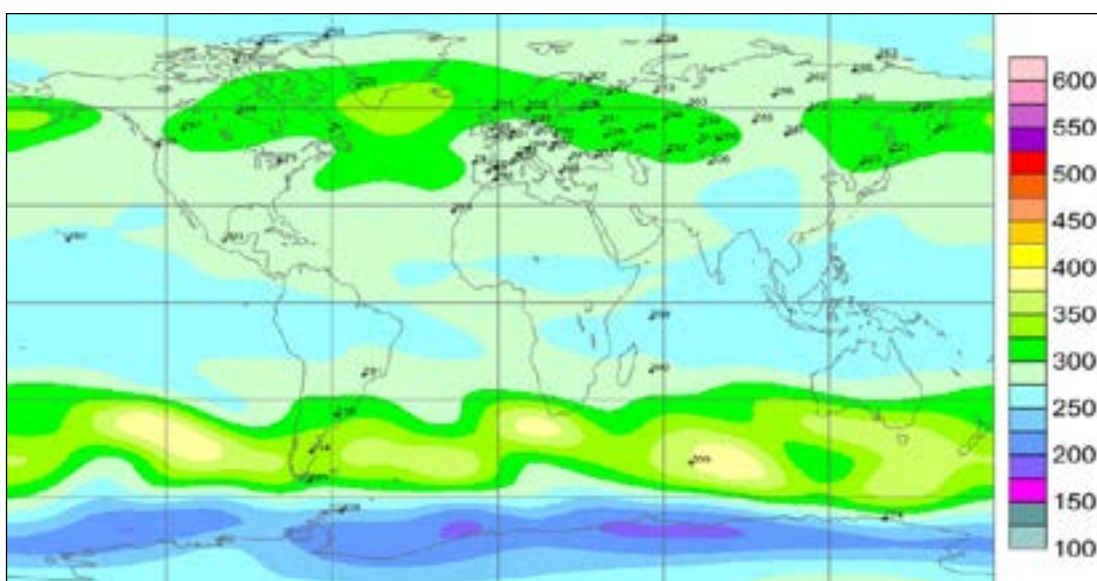


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- En la Figura 6 se observa el mapa mensual global correspondiente al mes de setiembre 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 la zona norte y sur de Sudamérica las concentraciones son mucho mayores (275 UD - 300 UD).

FIGURA N° 6

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

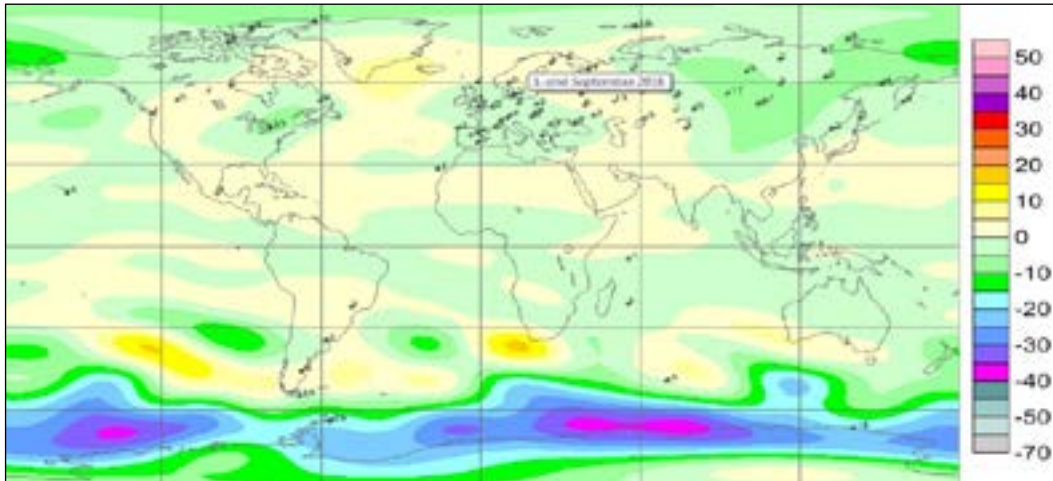


Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

- 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 la zona norte del país (-5%), mientras que en la zona sur las desviaciones han estado por encima de sus normales (+5%). Ver Figura 7.

FIGURA N° 7

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



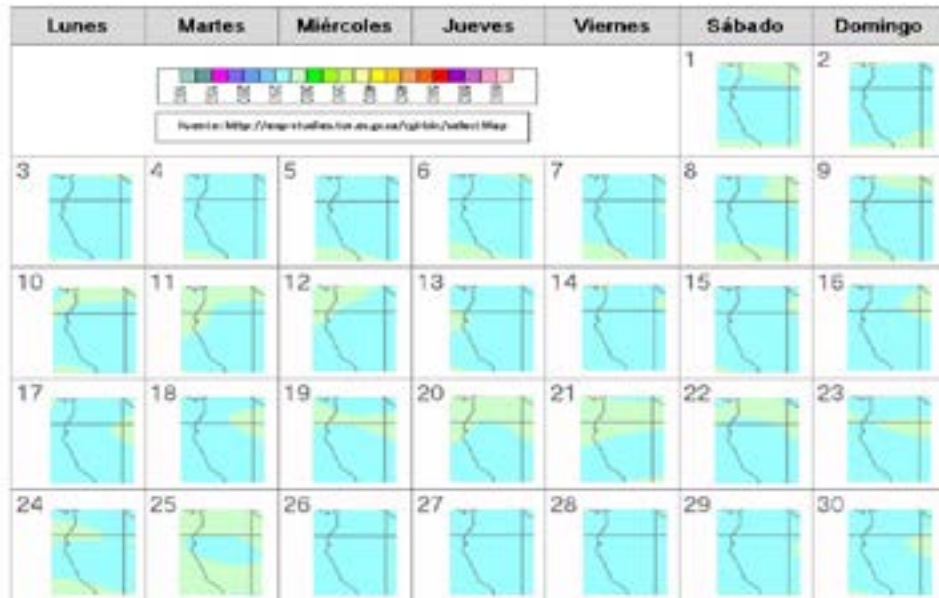
Fuente: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/cgi-bin/selecMap>

Se debe recalcar que la información (datos) proveniente de los satélites AURA plataforma OMI y SUOMI, en este mes de setiembre, 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 se llegaron a incrementar nuevamente en todo el mes (Figura 8), con concentraciones que oscilaron entre 250 UD y 275 UD. En algunos días del mes las concentraciones llegaron inclusive a oscilar entre 275 UD a 300 UD.

FIGURA N° 8

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



TEMPERATURA EN LA BAJA ESTRATOSFERA

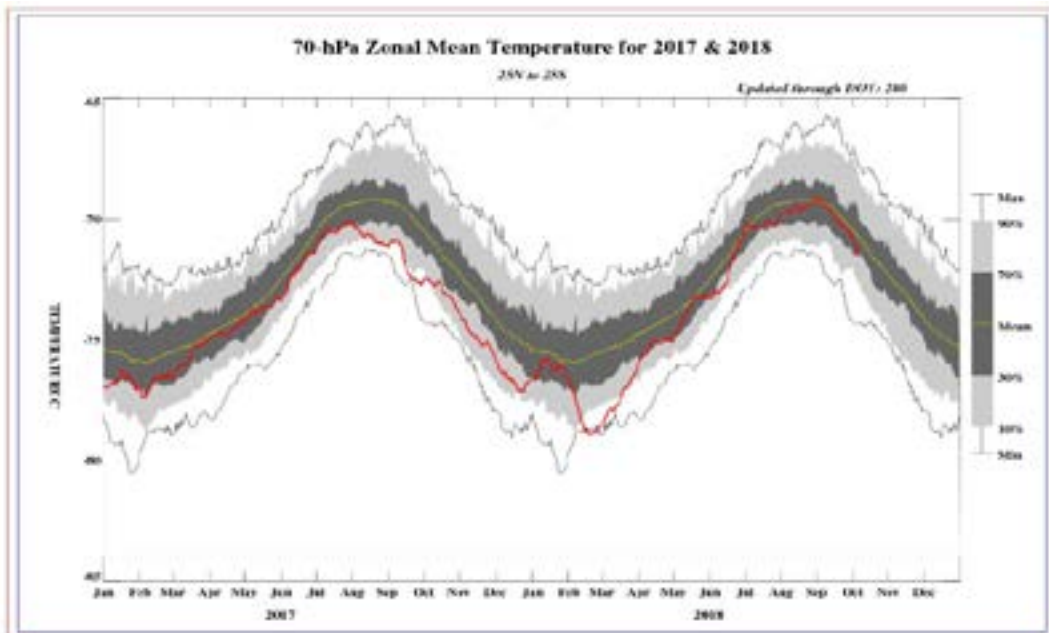
Es importante considerar que lo que pase en la atmósfera baja tiene, a veces, su impacto en la atmósfera alta o viceversa, y para poder entender la variabilidad del ozono atmosférico es importante conocer cómo es el comportamiento temporal de la temperatura en dichos niveles. Por ello se requiere el 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 setiembre 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 una posición bastante cercana a su valor normal (línea de color verde), especialmente durante la primera quincena del mes. El valor promedio mensual (1979-2017) de la temperatura en este nivel es de -68.5°C, mayor ("más cálido") al mes de agosto, pero los calculados en este mes de setiembre del presente año tienen un promedio mensual de -69.0°C (0.5 grados por debajo 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 los primeros días del mes la temperatura estuvo bastante cercana a su valor normal. Esto nos indicaría, que los valores de ozono se mantengan superiores en la alta estratósfera, mientras que en baja estratósfera las concentraciones aún son bajas.

FIGURA N° 9

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



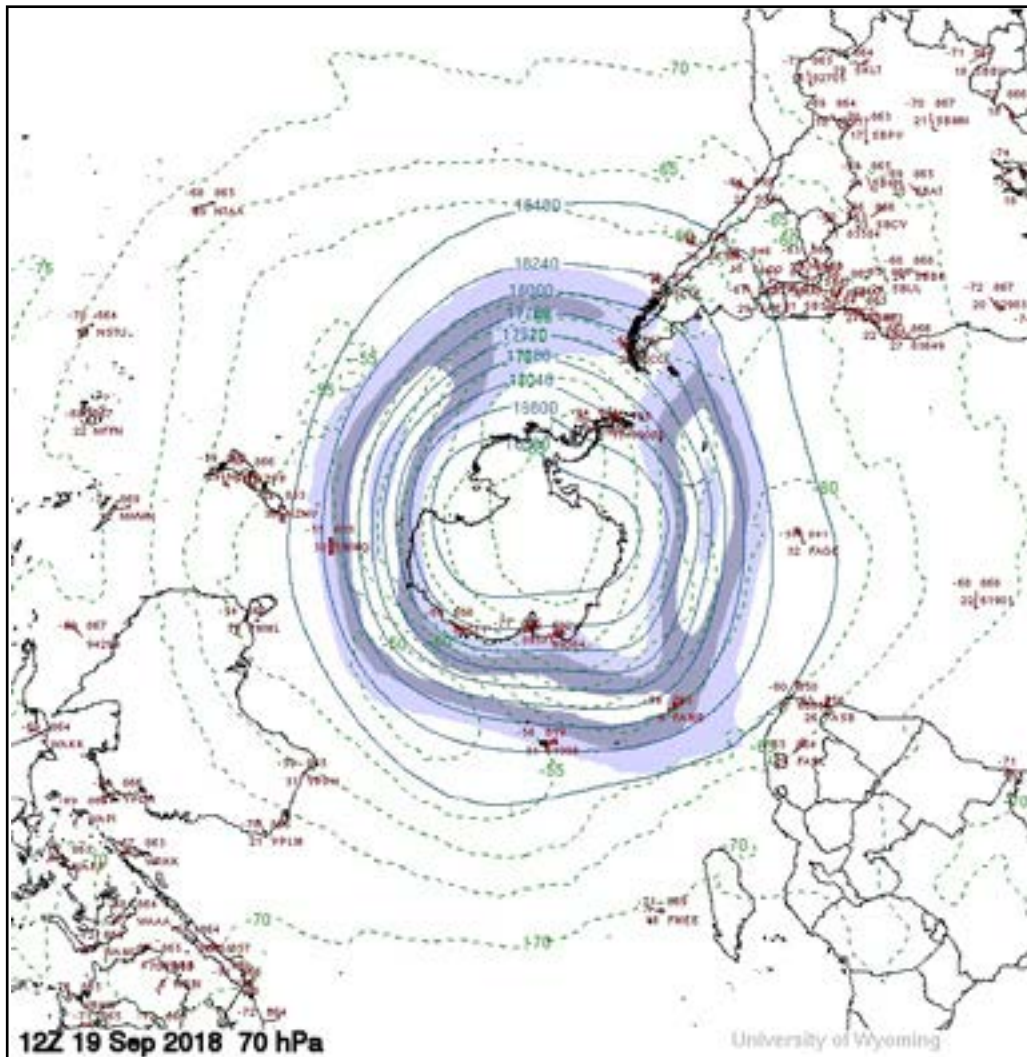
Fuente: National Weather Service, Climate Prediction Center (Web Site)

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 agosto, se puede mencionar que las temperaturas en el continente antártico han registrado valores en el orden de -85°C en promedio, debido al aumento paulatino de la intensidad de la radiación solar el cual permite un ligero aumento de la temperatura en dicha región al mismo tiempo que se dan los mecanismos para la persistencia del sistema denominado vórtice polar antártico. Mientras que en la región tropical o latitudes bajas las temperaturas han registrado valores relativamente similares al mes pasado generando que las concentraciones de ozono en cierta manera sean mayores al mes de agosto.

Para el caso de nuestro país las temperaturas a este nivel han registrado valores de -70°C inferior a nivel de masa de aire (masa relativamente fría) con respecto al mes de agosto. 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 en parte del mes a nivel de estratosfera baja).

FIGURA N° 10

Comportamiento de la temperatura en 70hPa para el Hemisferio Sur (19 de setiembre 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 setiembre, varía desde valores altos en las primeras horas de la mañana 256.0 UD (mucho mayor al mes anterior) hasta valores relativamente bajos en horas cercanas al mediodía (242.9 UD). Este comportamiento se debería a que en las primeras horas del día la intensidad de la radiación ultravioleta es baja, pero mayor a los meses anteriores, y por ende la acción fotoquímica es un poco más intensa 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 despejado) y por ende se presentan actividades fotoquímicas más intensas, trayendo como consecuencia mayor formación y destrucción del 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 setiembre osciló entre 243.7 UD a 254.6 UD (valor mínimo mayor al mes de agosto y valor máximo mucho mayor al mes anterior en 6.9 UD). Estos valores, comparados con el promedio diario multianual, podemos determinar que son bajos, en el orden de 2.0 UD. La presencia aun de sistemas propios de la estación astronómica de invierno, circulación de vientos a nivel de 70 hPa de este a oeste mayormente y presencia de mayores núcleos anticiclónicos en este nivel, han permitido, con cierta persistencia, el traslado de cierta cantidad de masas de aire con contenido de ozono desde el hemisferio norte hacia otras regiones del continente.
4. La información de ozono proveniente del satélite AURA plataforma OMI y del SUOMI, en este mes de setiembre, estuvieron mayormente, 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 setiembre (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.

6. En lo que concierne al comportamiento de la temperatura en la baja estratósfera (70 hPa) se puede mencionar que hasta el mes de setiembre del presente año los valores estuvieron muy cercanos a su normal climatológica específicamente durante la primera quincena del mes. En promedio su normal climática es de aproximadamente -70.0°C , pero resulta que en este mes registró un valor promedio de -69.8°C aproximadamente, valor físico por debajo de su normal en 0.2°C , lo cual nos hace pensar que a nivel de alta atmósfera como que la concentración de ozono estaría absorbiendo más radiación ultravioleta y debido a ello se tendría más concentración de ozono.
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 noviembre 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

