

# BOTICA

REVISTA DIGITAL VENEZOLANA CON INFORMACIÓN PARA EL MÉDICO / WWW.BOTICA.COM.VE

N° 18, Año 2014

TRABAJO ACADÉMICO

## El doble papel del ozono y del UV-B en la salud humana

A la distancia promedio del Sol (~150 millones de km), la Tierra intercepta o recibe de él, en el tope de la parte o capa mas alta de su atmósfera (exosfera), una energía radiante promedio de 1.367 W (vatios) por cada metro cuadrado de su área (constante solar) y que le toma unos 8 minutos en viajar hasta ahí desde el astro rey, a razón de 300.000 km/s (velocidad de la luz en el vacío). Repartida esta constante en los diferentes sectores del espectro de radiación electromagnética, esta energía llega en forma desigual, siendo el 46.41% de ella transportada por la radiación visible (luz) la cual llega hasta la superficie y juega un papel fundamental en la fotosíntesis (biosfera).

El resto de esta energía, que es invisible, es transportada hasta ese tope, en otros intervalos del espectro solar como aquellos correspondientes a longitudes de onda mas corta que la visible, o sea, los rayos gamma, X y ultravioleta (UV), que son menores a 0.4  $\mu\text{m}$  (400 nm) y longitudes de onda mas largas que la visible, es decir, rayos infrarrojos (IR), microondas, ondas de radio, etc, todas ellas mayores que 0.7  $\mu\text{m}$  (700 nm). De esa constante solar, solo el 8% es transportado por los X y UV y el resto por el IR y demás longitudes de onda que le siguen.

Pero no toda la constante solar penetra hasta la superficie terrestre. Ésta es filtrada o rechazada por el sistema atmósfera-superficie (hidrosfera + litosfera + criosfera + biosfera).

De la radiación visible e IR, alguna es rechazada por reflexión (albedo, nubes, etc); pero la radiación X y UV es filtrada (absorbida) selectivamente por partes o capas especializadas de la media y alta atmósfera, cuya conservación y protección ambiental es vital para la vida y salud humana. Por ejemplo, los rayos X son bloqueados por la ionosfera; los fotones X, a pesar de llevar en su conjunto una energía radiante menor que el 8% de la constante solar, son muy penetrantes debido a su corta longitud de onda por fotón; así, cada fotón de éstos es suficientemente energético como para ser atajado al ionizar las moléculas de O, O<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> del aire a una altura de entre los 80 y 500 km. Esta región se conoce como la ionosfera (termosfera), la cual está compuesta por iones de estas especies atmosféricas (cargados eléctricamente), que se producen precisamente por el proceso de desprendimiento de sus electrones (fotoionización)

debido a la acción de los fotones X. En este sentido, la ionosfera actúa como un filtro para protegernos de los rayos X solares.

Afortunadamente, hasta el momento el ser humano no ha sido capaz de abrirle un “hueco” a la ionosfera como para dejarlos pasar. Sin embargo, hay quienes sospechan que la ionosfera está siendo manipulada desde tierra (Alaska) con fines militares de guerra geofísica o ambiental (Proyecto HAARP), mas abajo, a nivel de la troposfera y superficie, pero esto es otro tema.

La radiación o fotones UV es o son filtrados por la atmósfera más abajo en una región llamada estratosfera; allí el gas ozono, molécula formada por tres átomos de oxígeno (O<sub>3</sub>) se encarga del proceso de detenerlos (absorberlos); en éste proceso, los fotones UV son capaces de partir esta molécula (fotodisociación o fotólisis) en oxígeno atómico y oxígeno molecular (O<sub>2</sub>). Reacciones de combinación entre el O<sub>2</sub> y el O (perfil de Chapman) y de otro tipo, mas complejas (catalíticas), restituyen el O<sub>3</sub>, estableciéndose un equilibrio o balance químico natural entre la fotodisociación y la recombinación de estas especies atmosféricas. Desafortunadamente, el ser humano ha sido capaz de romper este balance, abriendo un “hueco” allí, principalmente en los polos y sus vecindades, en una parte de esta región conocida como capa de ozono u ozonósfera y que ha puesto en peligro la vida y la salud humana.

En un folleto de la serie Ecología y Ambiente titulado “La Capa de Ozono” (15 pp), editado por el Instituto Autónomo Biblioteca Nacional (Coordinación de Publicaciones Divulgativas) en el año 2006, en el que participaron el Ministerio del Ambiente, la Fundación La Salle, Pequeños Científicos y el Fonacit, el lector puede encontrar de una manera sencilla y amena detalles sobre esta capa, el “hueco” o “agujero” de ozono, cómo se produjo, quiénes fueron los culpables y qué se ha hecho para recuperarla.

En otro pequeño folleto (8 pp) de la serie La Hoja Ambiental (N° 20) titulado “La Capa de Ozono – Nuestro Escudo Invisible”, publicado en 2005 por la Dirección General de Educación Ambiental y Participación Comunitaria del Ministerio del Ambiente, el lector puede rápidamente ahondar más en detalles sobre este problema antropogénico presentado en esta capa.

Para una información mas completa, hay otras opciones bibliográficas como el artículo "Inquietante Desaparición del Ozono en la Antártida" por P. Aimedieu, publicado en Mundo Científico, Vol. 6 (1986, N° 64, pp. 1254-1256), el artículo "El Agujero de Ozono de la Antártida" por R.S. Stolarski, publicado en el N° 138 (edición de marzo, 1988; pp. 12-18) de Investigación y Ciencia (edición española de Scientific American), el artículo "Nubes Estratosféricas Polares y Empobrecimiento en Ozono" por O.B. Toon y R.P. Turco, publicado en el N° 179 de Investigación y Ciencia (1991, p. 34) y la "Cambiante Capa de Ozono" por R.D. Bojkov, folleto publicado conjuntamente por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1995 (32 pp).

Dicho problema, simulado en el laboratorio, es presentado en un video (~ 10 min.) titulado "La Capa de Ozono en un Tubo de Ensayo" que fue producido conjuntamente por la Universidad de Los Andes (Mérida), Fondoin (Fondo Venezolano de Reconversión Industrial y Tecnológica) y la Fundación La Salle y en el cual tuve la oportunidad de participar. Para aquellos, aun mas interesados por el problema, existe un software interactivo llamado "La Capa de Ozono", patrocinado por Fondoin, en el que diferentes aspectos de esta capa son explicados.

Para entender el doble papel que juegan el ozono y la radiación UV en la vida y la salud humana, y complementando la información general suministrada en las referencias citadas anteriormente, hay que ir un poco al detalle sobre este gas como componente del aire y sobre el UV como componente del espectro electromagnético.

En primer lugar, hay que tomar en cuenta que el aire natural o contaminado antropogénicamente, es una mezcla compleja y variable de gases y partículas (aerosoles e hidrosoles) sometida a la gravedad terrestre, a la irradiación solar (directa o indirecta) en todo su espectro a diferentes alturas de la atmósfera, pero, además, a la amenaza y manipulación humanas. Por esto último es que el aire, como elemento natural de la atmósfera, constituye un bien fundamental que debe conservarse de acuerdo al Artículo 59 de la Ley Orgánica del Ambiente de 2007.

La fase gaseosa del aire está dominada por el oxígeno di-atómico ( $O_2$ ) y el nitrógeno di-atómico ( $N_2$ ) que, en su conjunto, representa el 98.94% (20.94% + 78.08%) de esta fase hasta una altura de unos 95 km; gases nobles (argón, radón, etc) y gases invernaderos ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ ,  $CO$ ,  $O_3$ , etc) también forman parte de esta fase hasta alturas considerables. El vapor de agua ( $H_2O$ ), el gas de invernadero mas importante de la atmósfera (denominado técnicamente monóxido de dihidrógeno), es muy variable en esta fase, disminuyendo con la altura hasta un valor constante muy bajo de ~ 0.0005% a partir de los 15 km (tropopausa) hacia arriba (de la estratosfera en adelante).

Todos los gases del aire entran y salen del mismo, desde sus reservorios naturales (fuentes y sumideros) obedeciendo a sus respectivos ciclos geoquímicos, incluyendo el ciclo hidrológico del agua y su vapor, bajo condiciones de equilibrio o balance dinámico. A escala atmosférica global, podríamos decir que el aire es una mezcla de "capas" gaseosas donde cada "capa" está formada por su propia especie química como si ella estuviera sola; así, podríamos hablar de una "capa" para el oxígeno (la "oxigenosfera"), que va desde 0 km de altura hasta donde ya no quede  $O_2$ , de una "capa" para el  $N_2$  (la "nitrosfera"), que va desde 0 km hasta donde ya no haya nitrógeno, de una "capa" para el  $CO_2$  (la "dioxidocarbonosfera") que va igualmente como las anteriores, y así sucesivamente.

En particular, el ozono (forma alotrópica del oxígeno), gas muy oxidante, maloliente (huele parecido al cloro), irritante, tóxico, nocivo, descubierto por el químico alemán C. Friedrich Schönbein en 1839 quien lo bautizó con el nombre de ozon (del griego: "el oliente"), forma parte del aire natural desde 0 km hasta donde ya no se encuentre. Esta sería la real capa de ozono u "ozonósfera", pero la concentración de ozono en el aire con la altura, o su variación en esta "capa", tiene significativos valores altibajos. Por ejemplo, a nivel del suelo, la concentración de ozono es baja, de alrededor del 0.00007%, pero a un poco mas de 90 km tiene este mismo valor y, por los 120 km de altura ya no hay casi nada: cae por debajo del 0.0000005%. Por la tanto, en algún lugar de esta "capa" tiene que haber un máximo (en realidad, hay dos máximos). A los 100 km de altura, el ozono tiene una concentración un poco por encima de los 0.0001% (1 ppmv), pero entre los 20 y 25 km (en la estratosfera) el ozono puede alcanzar sus máximas concentraciones algunas veces cerca, por encima o por debajo, de diez veces mas que el anterior máximo, o sea del 0.001% (10 ppmv), suficiente como para filtrar o absorber parcialmente el UV. Por eso es que a estas alturas, en la estratosfera, se dice que se encuentran las mayores concentraciones de ozono atmosférico, porque allí la "capa" real de ozono se hace más notoria, y es más importante, por su poder protector radiativamente hablando; de allí que la "capa" de ozono u ozonósfera se le ubique precisamente en la estratosfera, entre los 20 km y 50 km de altura.

Pero eso no quiere decir que por debajo o por encima de este sector de la atmósfera no haya ozono; lo que pasa es que el ozono de ahí, el de la ozonósfera, es protector contra el UV (por su alta concentración), pero que no deja de ser nocivo si pudiéramos ir hasta allá. No obstante, a nivel troposférico y del suelo, donde vivimos, el ozono sigue siendo contaminante y nocivo a pesar de su baja concentración. Si nos trasladáramos a la estratosfera no solo moriríamos por la falta o baja presión parcial de oxígeno [asfixiados (hipoxia)], sino también o por la alta radiación UV o intoxicados por el ozono. Por lo tanto, así como lo es el colesterol en la sangre, hay un ozono bueno y un ozono malo (si se pasa de cierto límite) en el aire; el ozono bueno nos protege arriba si no le abrimos un "hueco" y lo agotamos (degradación de su concentración máxima

por cierto tipo de contaminación antropogénica) y no lo inhalamos, pero nos puede intoxicar y enfermar abajo si se pasa de cierta concentración debido a otro tipo de contaminación antropogénica.

Según el decreto presidencial N° 638, del 26/04/95 (Gaceta Oficial N° 4.899 Ext, 19/05/95), el límite tolerable del O<sub>3</sub> respirable debe ser de 240 µg/m<sup>3</sup> (~ 0.1 ppmv) para que no cause problemas (congestión pulmonar, etc), tomado como media en cada hora de medición. Sin embargo, en el documento de la Organización Mundial de la Salud (OMS) titulado “Guías de Calidad del Aire de la OMS Relativas al Material Particulado, el Ozono, el Dióxido de Nitrógeno y el Dióxido de Azufre” (actualización mundial de 2005), encontramos que este límite recomendable baja a 100 µg/m<sup>3</sup> (0.05 ppmv), tomado como media en cada ocho horas de medición.

Además de las intrusiones en la troposfera del ozono estratosférico, el O<sub>3</sub> se forma en esta última a partir del O<sub>2</sub> en presencia de NO<sub>2</sub> (producido por la acción de las descargas eléctricas o rayos en el aire), más radiación solar visible en el violeta (430 nm); así lo produce la naturaleza en nuestro medio ambiente y así también lo produce el ser humano (a través de contaminación por NO<sub>2</sub> artificial) imitándola.

El ozono natural producido en la estratosfera se genera mayormente en los trópicos desde donde se difunde hacia el resto de ella por acción de la circulación atmosférica global.

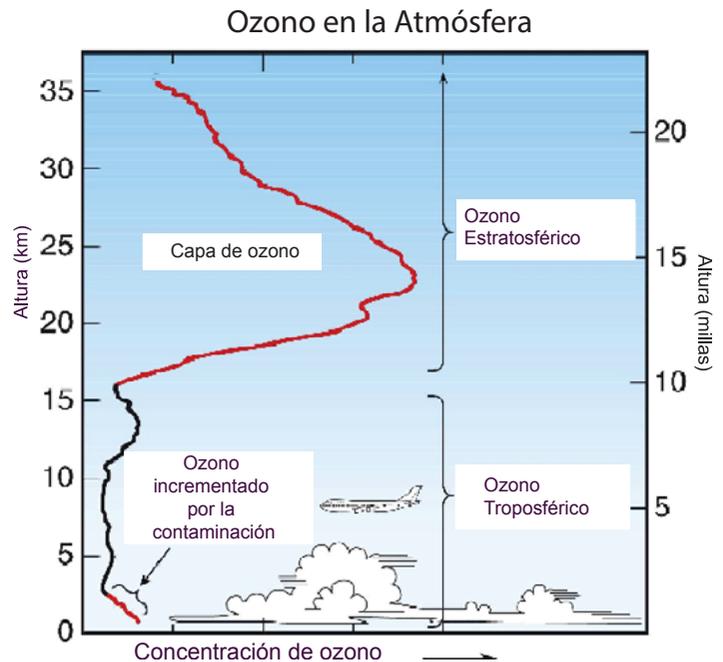
Por otra parte, comprometido formalmente por haber firmado el Protocolo de Montreal, el gobierno venezolano, para proteger la parte buena (ozonósfera) de la capa total de ozono, emite un primer decreto presidencial (Pérez) en 1992 (N° 2.215), titulado Normas para Controlar el Uso de las Sustancias Agotadoras de la Capa de Ozono (con 15 artículos); después, un segundo decreto (N° 3.220) (con 36 artículos), que deroga el primero, es emitido en 1999 (Caldera). Posteriormente, un tercero (N° 3.228) (con 42 artículos), que deroga el anterior, y sobre el cual fuimos consultados en su articulado más no en sus “considerandos”, fue emitido en 2004 (Chávez); éste, sufre una reforma en 2006 (Decreto N° 4.335) en la que, además, se modifican y eliminan algunos “considerandos”: por ejemplo, el tercer “considerando”, curiosamente, quedó eliminado. El primer “considerando”, en ambas versiones, es un extracto del Artículo 127 de la actual Constitución Nacional que obliga al estado a proteger la Capa de Ozono (independiente de cualquier otro instrumento jurídico supranacional).

No obstante, a pesar de que al principio se citan otras leyes nacionales, no se cita expresamente este artículo. En todo caso, desde la firma del Protocolo de Montreal, el estado venezolano se ha preocupado por la protección de la capa de ozono.

El poder legislativo también ha participado en la acción legal para la conservación de la calidad de la atmósfera y para la protección de la capa de ozono, por medio del Artículo 60, para lo primero, y del Artículo 80, Numeral

10, para lo segundo, de la Ley Orgánica del Ambiente publicada en la Gaceta Oficial N° 5.833 Extraordinario del 22 de diciembre de 2006.

Figura 1. Perfil general de ozono con la altura, mostrado aquí hasta 35 km, tomado y adaptado del Reporte N° 37 de la Organización Meteorológica Mundial (1994). El 90% se encuentra en la estratosfera y, solamente, el 10% se encuentra en la troposfera.



La Figura 1 muestra el perfil general de ozono con la altura, desde 0 km hasta 35 km, tomado y adaptado del Reporte N° 37 de la Organización Meteorológica Mundial (1994).

Con relación al UV como componente del espectro electromagnético, estos rayos se caracterizan por un conjunto de radiaciones del espectro electromagnético con longitudes de onda, menores que la radiación visible (luz), que va desde los 400 hasta los 150 nm. Se suelen diferenciar tres bandas de radiación UV: la UV-A, la UV-B y la UV-C. La banda A, que va de los 320 a los 400 nm, es la más cercana al espectro visible y casi no es absorbida por el ozono estratosférico.

La banda B, que va de los 280 a los 320 nm, es absorbida casi totalmente por este ozono, aunque algunos rayos de este tipo llegan a la superficie de la Tierra; es un tipo de radiación dañina, especialmente para el ADN. Su exceso provoca melanoma y otros tipos de cáncer de piel. También puede estar relacionada, aunque esto no es tan seguro, con daños en algunos materiales, cosechas y formas de vida marina.

La banda C, que va de los 280 a los 150 nm, es extremadamente peligrosa, pero es absorbida completamente por este ozono “bueno” y el oxígeno en las alturas, si no hay allí un deterioro de su concentración (Fig.2).

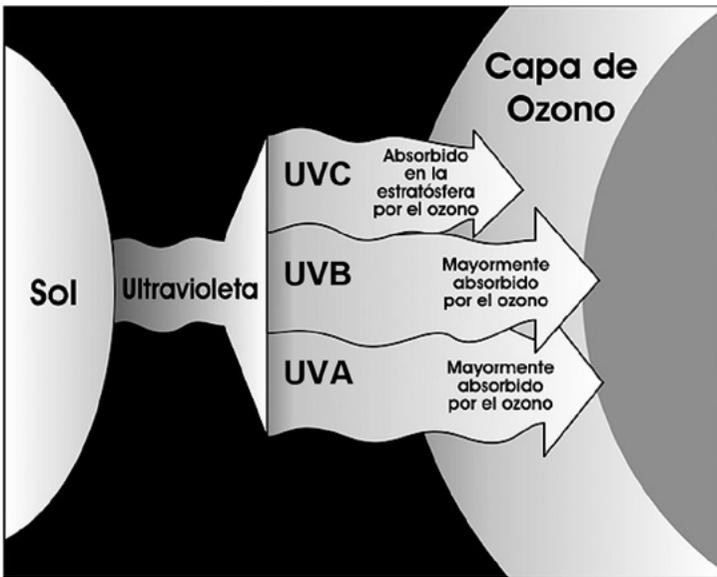
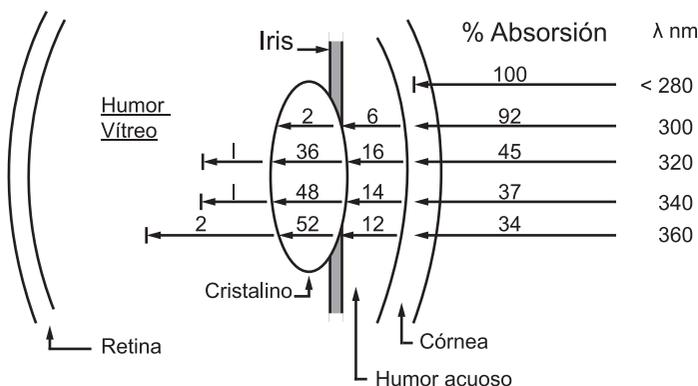


Figura 2. La capa de ozono juega un papel importantísimo en la atmósfera, al detener la radiación ultravioleta solar a nivel de la estratosfera (ozonósfera), en sus diferentes bandas A, B y C, que de lo contrario tiene el potencial efecto de perjudicar la vida terrestre.

Ahora bien, un incremento de la radiación UV-B, por agotamiento o degradación de la “capa” de ozono “bueno” tiene potenciales consecuencias adversas para la vida y la salud humana. Por ejemplo, inicia y promueve el cáncer de piel maligno y no maligno.

El 90% de los cánceres de piel se atribuyen a un exceso de rayos UV-B y se supone que una disminución en esta capa de un 1% podría incidir en aumentos de un 4% a un 6% de distintos tipos de cáncer de piel (Factor de Amplificación de Radiación, FAR), aunque esto no está tan claro en el más maligno de todos: el melanoma, cuya relación con exposiciones cortas pero intensas a los rayos UV parece notoria, aunque poco comprendida y puede llegar a manifestarse hasta ¡20 años después de la sobre exposición al sol! Daña el sistema inmunológico, exponiendo a la persona a la acción de varias bacterias y virus. Provoca daño a los ojos, incluyendo cataratas. La exposición a dosis inconvenientes, inapropiadas o innecesarias de rayos UV-B puede dañar estos órganos, especialmente la córnea que absorbe muy fácil estas radiaciones (Fig. 3).



A veces se producen cegueras temporales y la exposición crónica se asocia con mayor facilidad de desarrollar cataratas. Hace más severas las quemaduras del sol y avejentan la piel (dosis mínima eritematosa, índice UV). Aumenta el riesgo de dermatitis alérgica y tóxica. Activa ciertas enfermedades por bacterias y virus. Aumentan los costos de salud. Impacta principalmente a la población indígena.

Figura 3. La exposición de los ojos a dosis inconvenientes o inapropiadas de rayos UV-B puede dañarlos, especialmente la córnea porque absorbe muy fácil estas radiaciones. Las longitudes de onda ( $\lambda$ ) entre los 280-320 nm, en el recuadro derecho superior, corresponden al UV-B. El 100% de los 280 nm, el 92% de los 300 nm y el 45% de los 320 nm, son absorbidos, respectivamente, por la córnea; el resto es absorbido en el humor acuoso y en el cristalino. Las longitudes de onda entre 340-360 nm, en el recuadro inferior, corresponden al UV-A; atraviesan más fácilmente la córnea y el humor acuoso, pero no así el cristalino, donde son fuertemente absorbidos. De esta manera, esta radiación es dañina para los ojos, cuyas estructuras no están adaptadas ni diseñadas para defenderse de ella.

A comienzos de los 90, un equipo formado por pediatras, dermatólogos y epidemiólogos venezolanos, realizó en diferentes zonas del país, un extenso trabajo para diagnosticar lesiones dermatológicas producidos por el UV-B. Éstas incluyeron daño actínico en la población infantil, para conocer estadísticamente la magnitud de la afección ocasionado por la exposición a la radiación solar en menores de 21 años. Se deseaba intervenir activamente en la prevención de estas lesiones, considerando que los efectos de la radiación solar son acumulativos y que el 80% de la misma se recibe antes de los 18 años, aunque algunas de sus patologías se manifiestan a edades más avanzadas. El estudio se encuentran en un informe del año 2001 titulado “El Sol y la Piel de los Niños Venezolanos” por M. González Oviedo (Hospital Dr. José María Vargas, Maracay).

Algunos resultados regionales fueron: En el Archipiélago de Los Roques (1994) el 35% de la población evaluada, entre 0 y 21 años, presentó daño actínico. En la zona costera del Edo. Aragua (1996), con población mayoritariamente negra, se halló que el 40% de la población estudiada, presentó daños solares; se demostró así, que la piel negra es afectada por esta radiación. En la Colonia Tovar (1998), a 1796 m snm, de población predominantemente blanca, se encontró una incidencia muy alta del daño solar, alcanzando el 87% de dicha población. Y en el Edo. Amazonas (2000), se evidenció la alta incidencia de lesiones solares entre la población indígena, destacando la presencia de pterigium ocular en un alto porcentaje de los pacientes pediátricos.

Pero el UV-B (junto con el UV-A) juega otro papel crucial en la salud humana que no es malo, pues se relaciona con la producción de vitamina D, proceso que comienza en la piel y que termina en el intestino donde se sintetiza la enzima que transporta el calcio al resto del organismo.

Para comenzar, un precursor de esta vitamina, la previtamina D<sub>3</sub> (colecalfiferol), se produce en unas células migratorias pertenecientes a la capa malpighiana de la piel llamadas queratinocitos, cuando el UV-B/UV-A (280-400 nm) y el calor activan el 7-dehidrocolesterol, un derivado del colesterol. A través del torrente sanguíneo, la D<sub>3</sub> llega al hígado donde se hidroliza para formar el 25-hidroxicolesterol D (25D) o 25-hidroxicalciferol (calcidiol) que regresa a la circulación sanguínea. Gran parte de nuestras reservas 25D sufren una segunda transformación en los túbulos proximales de los riñones, donde se hidroliza otra vez y se convierte en 1,25 dihidroxicalciferol (calcitriol) y en otros metabolitos menos activos como el 24,25 dihidroxicalciferol. A estas alturas del proceso, el calcitriol entra entonces en acción a nivel de los núcleos de las células epiteliales intestinales para favorecer el transporte de calcio en el cuerpo humano. Así, la vulnerabilidad en este transporte se puede deber a deficiencia funcional en cuatro puntos diferentes del organismo: intestino, riñones, hígado, piel, pero además, puede deberse a deficiencia o a exceso de radiación UV-B. Esto significa que una sobre producción de vitamina D, puede llevar a una hipercalcemia (toxicidad), o una disminución o carencia de ella puede conducir a una hipocalcemia, originando síntomas de raquitismo en los niños y osteomalacia en los adultos, un aumento en el riesgo de cáncer o fallos en las respuestas antimicrobianas.

En particular, con relación a lo anterior, una combinación de factores ambientales y corporales puede dar resultados diferentes; por ejemplo, para individuos de piel clara, en montañas altas tropicales donde la radiación solar es alta, existe un riesgo de hipervitaminosis D que origina una hipercalcemia lo que puede significar baja tasa de raquitismo en niños, pero toxicidad en los adultos. Para individuos de piel oscura, en las mismas condiciones, la calcemia debe ser normal.

En regiones tropicales de baja altitud con moderada radiación solar, o en regiones de latitudes altas, con largas noches invernales y otoñales y luz solar más corta (baja radiación solar), para individuos de piel oscura, existe un riesgo de hipovitaminosis D que origina hipocalcemia conducente a alta tasa de raquitismo en niños y otras afecciones en el adulto donde el calcio juega un papel preponderante (osteoporosis, osteomalacia, fibromialgia reumática, etc); para individuos de piel clara, bajo estas condiciones, la calcemia debe ser normal. Afortunadamente, para los casos desfavorables, las hipovitaminosis D se pueden combatir a través de algunos alimentos, como los hongos, la leche, los huevos y el pescado, quienes inician a través del ergosterol y el ergocalciferol (previtamina D<sub>2</sub>) el proceso a nivel del hígado.

La Figura 4 ilustra la importancia de la vitamina D, activada por la radiación solar ultravioleta o por la dieta o ingesta de cierto tipo de alimentos, en diferentes ámbitos y procesos fisiológicos del cuerpo humano. En general, las personas de piel blanca producen vitamina D a una velocidad seis veces superior que las de piel oscura, debido a que la melanina, mas abundante en las pieles

oscuras, bloquea la penetración del UV-B en la piel. Como resultado, el nivel de 25D suele ser en los negros la mitad que en los blancos.

No obstante, lo anterior, en un artículo titulado “La Vitamina Solar”, publicado por L.E. Tavera-Mendoza y J.H. White en Investigación y Ciencia (N° 376, enero 2008, pp. 14-21), el cual recomendamos para que el lector encuentre mayor información general sobre el papel que juega la vitamina D en la salud humana, se dice que una ingesta de suplementos dietéticos puede provocar una sobre dosis de vitamina D. Sin embargo, para que esto ocurra, deben tomarse diariamente dosis superiores a 40000 UI durante un largo tiempo. Por el contrario, nunca se ha observado un exceso de esta vitamina por exposición solar.

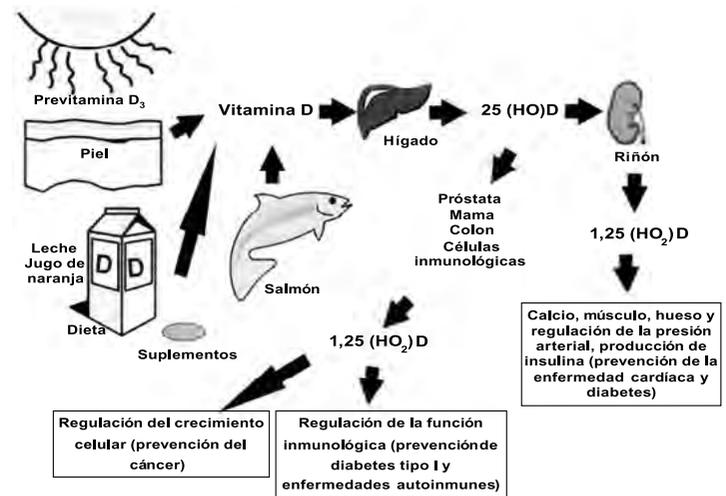


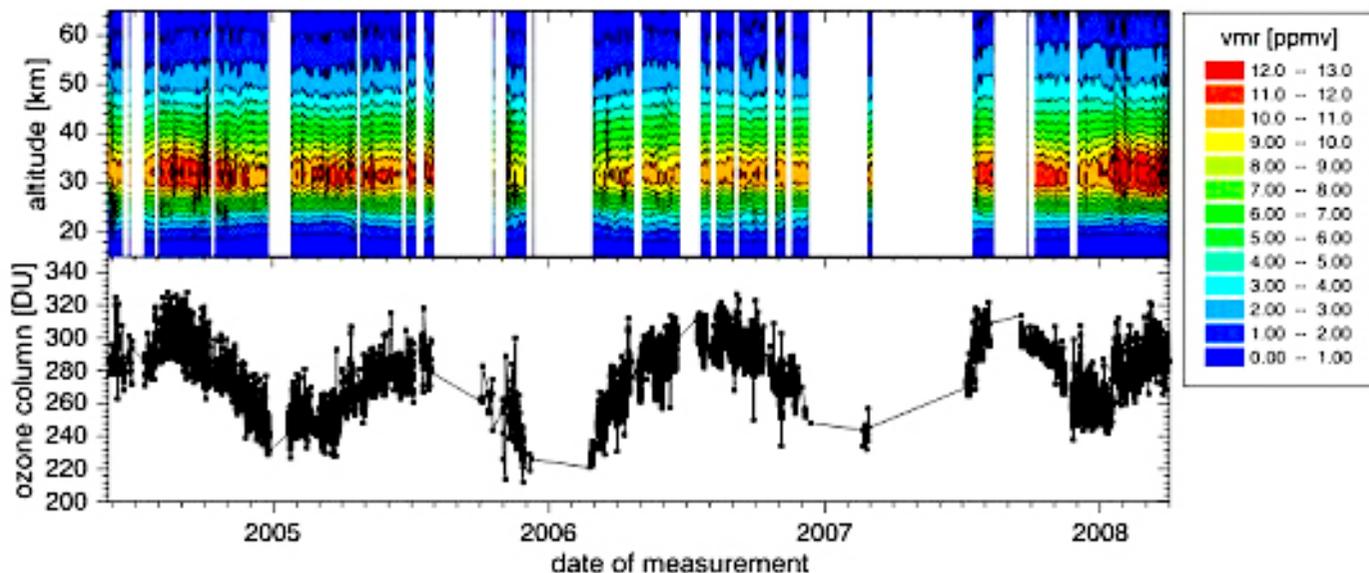
Figura 4. El déficit de vitamina D puede tener consecuencias importantes en la salud. Los niveles séricos adecuados de vitamina D de al menos 20 ng/ml y preferentemente 30 – 50 ng/ml ayuda a reducir el riesgo de muchas enfermedades crónicas, entre otras, diabetes tipo 1, hipertensión arterial, insuficiencia cardíaca, esclerosis múltiple, carcinoma de mama, próstata, colon y ovario. Debemos asegurarnos de evitar el déficit de vitamina D en todas las edades de la vida.

Además de las acciones antes citadas de tipo legal, técnico y educativo, adelantadas por el Poder Legislativo y por el Ejecutivo Nacional venezolanos, a través de la Presidencia de la República (decretos), el Ministerio del Ambiente y Fondoin, para proteger la capa de ozono, otras instituciones del estado venezolano han hecho lo propio a lo largo de los años. Para mencionar algunos significativos, tenemos el caso, por ejemplo, de la Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales que organizó y celebró el 19 de noviembre de 1986, en su sede, un foro titulado “Modificaciones del Ozono Estratosférico: Evidencias, Riesgos y Estrategias Mitigativas”.

Las intervenciones de los panelistas y preguntas de los asistentes, se publicaron en una edición especial del boletín de esa academia en ese mismo año (Año XLVI, Tomo XLVI, N° 145-146, 151 pp), con el auspicio de la

Oficina de Educación Ambiental, Desarrollo Profesional y Relaciones Internacionales del Ministerio del Ambiente. Más recientemente, la Universidad de Los Andes (ULA) puso a disposición de un proyecto extranjero [Proyecto “Merida Atmospheric Research Station” (MARS), ejecutado por el Centro de Investigación de Karlsruhe

oscilaciones mayores interanuales de la capa andino-venezolana total de ozono, siendo los mínimos de estas últimas a finales de año y los máximos a mitad. El Proyecto MARS aparentemente dejó de funcionar a partir de Abril de 2008 por cierre indefinido del Teleférico de Mérida.



y por el Instituto de Física Ambiental de la Universidad de Bremen, ambos alemanes], el antiguo observatorio meteorológico “Alejandro de Humboldt” de Pico Espejo (4765 m snm), el cual fue recuperado y restaurado por la ULA para tal fin en 2001. A partir de 2004, la capa de ozono (y otras especies químicas atmosféricas relacionadas con ellas), se han venido midiendo sobre los Andes tropicales venezolanos por medio de una técnica de percepción remota asociada a la radiometría de microondas, como podemos observar en la Figura 5. En esta figura, se muestra por primera vez en nuestra historia la capa de ozono total venezolana (región Los Andes), y su ozonósfera asociada, en el lapso comprendido entre el 27 de mayo de 2004 y el 1ro de abril de 2008.

En el panel superior aparece, entre los 28 y 35 km de altura, una zona (coloreada entre rojo y anaranjado) correspondiente a esta ozonósfera, con concentraciones entre 11 ppmv y 13 ppmv. A parte de los baches o blancos instrumentales y operativos, se aprecia que la concentración fue mayor para el intervalo 2004-2005 que para el año siguiente de 2006; luego, la concentración volvió a aumentar en 2007 y en lo que se pudo abarcar del 2008. Esta variación se atribuye a procesos naturales locales, según lo establece el equipo del Proyecto MARS, pero que tienen que ser investigados con una mayor profundidad. No obstante, hasta donde se puede ver, se infiere una ozonósfera normal. El panel inferior, muestra la concentración “columnar” de ozono (cantidad de moléculas de ozono en una columna vertical de aire de un metro cuadrado de base), en unidades Dobson (1 Dobson =  $2.6 \times 10^{20}$  moléculas de ozono/m<sup>2</sup>), a partir de o con base en Pico Espejo hacia arriba, medida por instrumento llamado Espectrómetro Óptico Diferencial de Absorción (DOAS en inglés). Se observa claramente oscilaciones menores interdiarias, contenidas en

Figura 5. Por primera vez en la historia del país, la capa total de ozono y su ozonósfera asociada, son captadas y medidas aquí instrumentalmente con el Proyecto MARS, con el apoyo logístico de la ULA, en los Andes venezolanos (Pico Espejo, Edo. Mérida), en el lapso indicado en el eje temporal horizontal. La ozonósfera corresponde al panel superior, entre los 20 km y 50 km de altura (zona estratosférica), resaltada con los colores indicados menos el azul. La capa total de ozono “columnar” se aprecia en el panel inferior. Se nota cómo este ozono estratosférico-troposférico varía entre 320 y 220 unidades Dobson (UD), con una media simple de 270 UD; la media normal a escala global es de 300 UD. Se considera que un valor por debajo de los 220 UD es un indicador del inicio o aparición artificial de un “huevo” o “agujero” de ozono en la zona monitoreada ya que valores mas bajos que éste, solo son producidos por la acción del hombre.

Se presume que una variación en los niveles de radiación UV-B, acompaña a estos cambios en los niveles de ozono, lo cual debe ser inversamente proporcional entre sí: si uno aumenta, el otro debe disminuir y viceversa. Desafortunadamente, el Proyecto MARS no incluyó un radiómetro que solo midiera la radiación UV-B y/o UV-A.

Por todo lo anteriormente expuesto, hemos tratado de poner en contexto el doble papel que juega el ozono en la atmósfera y el que juega la banda B de la radiación ultravioleta del espectro solar. La alusión al ozono “bueno” y al ozono “malo” se refiere al sitio donde este se ubique y a la concentración que tenga; el ozono “bueno” es el que está alto en la atmósfera y tiene alta concentración, el “malo”, por su parte, es el respirable abajo si se pasa de cierta concentración (baja).

Igualmente, la alusión al UV-B “malo” y al UV-B “bueno”, se refiere al lugar y a la dosis que esta radiación tenga

en perjuicio o beneficio del organismo humano, llámese ojos o piel; el UV-B “bueno” es aquel que, bajo ciertas condiciones ambientales y corporales, produce una vitaminosis D y calcemia normales y que nos protege contra otras enfermedades, mientras que el “malo”, bajo otras condiciones del mismo tipo, puede propender a la hipo o hipervitaminosis D tal que aparezca hipo o hipercalcemia con sus implicaciones patológicas. El UV-B es “malo” por ser para el sentido de la vista (cataratas, etc) y para la piel en lo que a las patologías, benignas y malignas, tanto dermatológicas, inmunológicas como oncológicas se refiere. Es sorprendente saber cómo el UV, que solo transporta un pequeño porcentaje de la constante solar, si no es detenido en la parte intermedia de la atmósfera, es capaz de causar mucho daño abajo. Causa también sorpresa saber cómo el ozono, siendo protector arriba, es perjudicial abajo a pesar de sus bajas concentraciones. Y causa sorpresa cómo el UV-B tiene el potencial de desencadenar patología malignas como el cáncer, pero también el de protegernos contra él por intermedio de la vitamina D, etc. En un libro titulado *El Ozono - ¿Cuándo Protege y Cuándo Destruye?* por F. Velásquez de Castro (McGraw-Hill, 2001, 180 pp), el lector podrá ampliar este enfoque dicotómico, paradójico y controversial del famoso gas ozono.

Finalmente, en lo que a mi respecta, aparte de mis humildes participaciones personales en las actividades antes especificadas (video del experimento de la capa de ozono y decreto de 2004), y de mi contribución, representado a la ULA, en la instalación del proyecto MARS en Pico Espejo, en artículo de opinión publicado en el desaparecido vespertino *El Mundo de Caracas* el pasado día 10 de noviembre de 2007, titulado “Hueco en el Protocolo de Montreal”, di alguna información sobre las posibilidades de recuperación de la ozonósfera a escala global y a largo plazo.

Son muchas las preguntas que el lector seguramente querrá hacer con relación a este tema. Posiblemente las respuestas se encuentren en la abundante bibliografía impresa y electrónica que, a todos los niveles, ya existe y de la cual solo hemos citado una pequeña fracción, a la cual remitimos, y a la cual añadimos las siguientes: “Reflexiones sobre los Riesgos Actuales de la Capa de Ozono de la Atmósfera”, artículo por P.F. Lindau publicado en *Universitas*, Vol. XII (Nº 4, Junio 1976; pp. 311-316); “Destrucción de la Capa de Ozono Estratosférica”, artículo por E. Sanhueza publicado en *Acta Científica Venezolana* 28 (1977; pp. 178-196); “La Capa de Ozono y sus Modificaciones por la Actividad Antropogénica: Los Huecos en las Regiones Polares”, artículo por A. Banichevich y W. Fernández publicado en 1994 en *Revista Geofísica (México)*, 40 (enero-junio), pp. 139-182; *La Capa de Ozono: La Tierra en Peligro*, libro por M. Fisher publicado en 1993 (Edit. McGraw-Hill/

Interamericana de España S.A. Madrid); y *El Ozono – Una Trilogía de la Biodinámica*, libro por A. Banichevich de 2001 (Edit. Tecnológica de Costa Rica; 321 pp).

En 1917 Fowler y Strutt (Lord Rayleigh) muestran que el ozono atmosférico absorbe el UV y descubren la ozonósfera: dedujeron que existe una zona entre 40 y 60 km de altura en donde este ozono está distribuido. En 1932, Meetham y Dobson dedujeron, con mejores medidas, que esta zona está comprendida entre 10 y 50 km. En junio de 1974 Molina y Rowland, a través de una teoría publicada en la revista británica *Nature*, alertaron acerca de la posibilidad de que el consumo de sustancias clorhídricas y fluorhídricas podría poner bajo riesgo la capa de ozono estratosférica por una reducción peligrosa de su contenido. Y en 1985, el británico J.C. Farman y colaboradores publican los primeros datos sobre la existencia de lo que se conoció metafóricamente para la posteridad como el célebre “hueco o agujero de la capa ozono” en la estratosfera sobre el Polo Sur o Antártida. En 1952 el ozono troposférico contaminante, de origen antrópico y urbano, se observó por primera vez en el smog de Los Ángeles y en el de otras ciudades norteamericanas. Mucho tiempo después, en 2004 desde la cordillera meridiana, se comienza a medir, por primera vez en la historia de nuestro país, la capa de ozono venezolana, tocándome el honor de haber participado en ello. ■

- CRUZ Hochschule, G., J. Gross, P. Hoffmann, M. Hook, G. Kopp, K. Künzi, M. Peñaloza, M. Quack. (2002).

- Ground-Based Microwave Observations of Stratospheric Trace Gases at the Tropical Mérida Research Station (MARS) in Venezuela. En *Stratospheric Ozone 2002*

- Proceedings of the Sixth European Symposium

- Göteborg, Sweden. 2-6 September 2002. European Commission (Community Research), Air Pollution Research Report 79; pp. 197-200.

### Autor

Dr. Marcos A. Peñaloza-Murillo, Ph.D.  
Universidad de los Andes

[marcos.a.penalozamurillo@williams.edu](mailto:marcos.a.penalozamurillo@williams.edu)