



PNUMA

EL PROTOCOLO DE MONTREAL Y LA SALUD HUMANA

Cómo nos protege
la acción mundial
de los estragos de la
radiación ultravioleta

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE



Copyright © Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, 2015

Está autorizada la reproducción total o parcial y de cualquier otra forma para fines educativos o sin fines de lucro, sin ningún otro permiso especial del titular de los derechos, a condición de que se indique la fuente de la que proviene. EL PNUMA agradecerá que se le remita un ejemplar de cualquier texto cuya fuente haya sido la presente publicación.

No está autorizado el empleo de esta publicación para su venta o para otros usos comerciales sin el permiso previo por escrito del PNUMA.

Advertencia

Las designaciones de entidades geográficas que figuran en este informe y la presentación de su material no denotan, de modo alguno, la opinión de la editorial o de las organizaciones contribuyentes con respecto a la situación jurídica de un país, territorio o zona, o de sus fronteras o límites.

El PNUMA promueve prácticas favorables al medio ambiente. La presente publicación está impresa en papel reciclado al 100%, y en ella se utilizan tintas de base vegetal y otras prácticas ecológicamente inocuas. Nuestra política de distribución procura reducir la huella de Carbono del PNUMA.

Agradecimientos

El presente documento fue elaborado por el Programa Acción por el Ozono de la División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA (PNUMA/DTIE) y forma parte de su programa de trabajo en el marco del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal.

El equipo del PNUMA a cargo de este proyecto estuvo integrado por:

- Dra. Shamila NairBedouelle, Jefa de la Subdivisión de Acción por el Ozono de la DTIE del PNUMA
- Sra. AnneMaria Fenner, Directora de Información, Subdivisión de Acción por el Ozono

Participaron en la investigación y redacción:

- Profesor Nigel Paul, Copresidente del Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales, Lancaster Environment Centre, Universidad de Lancaster, Reino Unido

La calidad de la publicación fue revisada por:

- Dra. Sarah Allinson, Universidad de Lancaster, Reino Unido
- Dr. Pierre Césarini, Association Sécurité Solaire, Francia
- Dra. Emilie Van Deventer, Organización Mundial de la Salud (OMS)
- Profesor Robyn Lucas, Universidad Nacional de Australia, Australia
- Dr. Richard McKenzie, Instituto Nacional del Agua y la Investigación Atmosférica, Nueva Zelanda
- Profesora Mary Norval, Universidad de Edimburgo, Reino Unido
- Dr. Rémy Slama, Inserm, Francia
- Dr. Ezra Clark, Director de Construcción de capacidad, Programa Acción por el Ozono, PNUMA
- Sra. Artie Dubrie, Coordinadora de la Red Regional para el Pacífico, Oficina Regional del PNUMA para el Asia - Pacífico (ROAP)
- Sr. Shaofeng Hu, Coordinador de la Red Regional para Asia Sudoriental, de la Oficina Regional del PNUMA para el Asia – Pacífico (ROAP)
- Sr. JeanPaul Martial, Consultor, Programa Acción por el Ozono, PNUMA
- Sra. Kakuko NagataniYoshida, Oficial de Programa, Oficina Regional del PNUMA para Asia-Pacífico (ROAP)
- Sr. Marco Pinzón, Coordinador de la Red Regional para el Caribe, Oficina Regional del PNUMA para América Latina y el Caribe (ROLAC)
- Sr. Mahesh C. Uniyal, Consultor, Oficina Regional del PNUMA para el Asia-Pacífico, ROAP

Traducción/ Revisión de estilo: Marta Pizano

Consultora Diagramación y diseño: Sra. Aurélie Ek, Consultora

Créditos de las fotografías: © Shutterstock (a menos que se indique otra cosa)
Imágenes de la portada: © Shutterstock

Resumen

El éxito del Protocolo de Montreal envía un poderoso mensaje al mundo, al mostrar que es posible unirse para hacer frente a una amenaza común para la humanidad. Desde su aprobación en 1987, este tratado dirigido a eliminar las sustancias que agotan la capa de ozono estratosférico ha traído importantes beneficios para la salud humana en todo el mundo, principalmente al evitar un significativo aumento en los niveles de radiación ultravioleta (UV) que llegan a la mayor parte de las zonas habitadas del planeta.

El agotamiento de la capa de ozono permite a la radiación UV llegar directamente a la superficie de la Tierra. Las amplias investigaciones científicas de los últimos años han permitido comprender más claramente la forma en que el agotamiento del ozono impacta no solamente la salud humana, sino también la producción de alimentos y los ecosistemas.

Sin el Protocolo de Montreal, el mundo podría ser un lugar muy diferente. El presente documento resume los conocimientos actuales sobre la forma en que la radiación UV impacta la salud humana, al tiempo que elabora un escenario hipotético de lo que sería el mundo si no hubiéramos sido capaces de controlar las sustancias agotadoras del ozono. En dicho mundo el ozono estratosférico se habría desvanecido a mediados del siglo XXI, suponiendo un enorme aumento de radiación UV en todas las regiones del mundo, desde los polos hasta los trópicos.

Los efectos de la excepcional acción del Protocolo de Montreal sobre la salud humana empiezan a cuantificarse, y se calcula que hacia finales de este siglo se habrán evitado cuando menos 100 millones de casos de cáncer de piel. Un modelo reciente sugiere que solamente en los Estados Unidos, se habrán prevenido

más de 300 millones de casos de cáncer de piel. Para 2100 se habrán evitado muchos millones de nuevos casos de cataratas; según las estimaciones, solamente en Estados Unidos dicha prevención ascenderá a decenas de millones de casos.

La exposición a la radiación UV también puede afectar el sistema inmunológico de los seres humanos; se calcula que al frenar el agotamiento de la capa de ozono, el Protocolo de Montreal llegará a evitar todos los efectos mensurables de los rayos UV sobre el sistema inmunológico humano. A medida que la capa de ozono se recupera, no se espera que la reducción de la radiación UV incida sobre el tiempo que nos es necesario estar al sol para sintetizar adecuadamente vitamina D, indispensable para nuestra salud.

El aumento en la radiación UV podría afectar la producción de cultivos, algunas especies comerciales de peces y ciertos ecosistemas marinos vitales para la subsistencia de la pesca. Por lo tanto, el Protocolo de Montreal también beneficia la salud humana al proteger la seguridad alimentaria. Otra ventaja es la eliminación de productos químicos tóxicos antes ampliamente utilizados, como el bromuro de metilo. Por último, mediante la eliminación de algunas sustancias que agotan la capa de ozono, que a la vez son poderosos gases de efecto invernadero, el Protocolo ha contribuido a reducir los riesgos para la salud relacionados con el cambio climático.

La magnitud de los daños a la salud, de no haberse protegido la capa de ozono, es claramente conocida. La acción concertada de las Partes, en vigor desde 1987, ha sido esencial para proteger la salud y el bienestar de cientos de millones de personas, muchas de ellas aún por nacer.

Índice

Agradecimientos	3
Resumen	4
Prefacio	6
Introducción	7
La radiación ultravioleta: vínculo fundamental entre el ozono estratosférico y la salud humana	10
El cáncer de piel, un problema mundial de salud	15
El Protocolo de Montreal y el futuro de la capa de ozono: el mundo en que vivimos y el mundo que evitamos	20
Cánceres de piel en el mundo evitado	24
Los cánceres de piel en el futuro que esperamos	29
El agotamiento de la capa de ozono, la radiación UV y las enfermedades oculares	31
El agotamiento del ozono, la radiación UV y el sistema inmunitario	33
El agotamiento del ozono, la radiación UV y la vitamina D	35
Otros efectos potenciales del agotamiento del ozono sobre la salud humana	38
Lo esencial: el valor económico de los beneficios para la salud que el Protocolo de Montreal representa	41
Observaciones finales	42
Referencias y lecturas adicionales	44

Prefacio

Uno de los principales objetivos de la protección a la capa de ozono ha sido el de salvaguardar la salud humana. Las primeras líneas del Convenio de Viena para la Protección de la Capa de Ozono redactadas en 1985, no dejan duda a este respecto, al declarar que las Partes en el Convenio eran *"... conscientes del impacto potencialmente nocivo de la modificación de la capa de ozono sobre la salud humana y el medio ambiente..."*. Dos años después, en 1987, esta posición queda reafirmada en el preámbulo del Protocolo de Montreal, que comienza con la siguiente frase: *"... conscientes de que [...] tienen la obligación de tomar las medidas adecuadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos nocivos que se derivan o pueden derivarse de actividades humanas que modifican o pueden modificar la capa de ozono"*.

Treinta años más tarde, a lo largo de los cuales las Partes del Convenio de Viena y el Protocolo de Montreal han desplegado enormes esfuerzos por proteger la capa de ozono, recordamos estas declaraciones. La protección a la salud humana ha sido una consideración implícita en todas las acciones emprendidas por las Partes. Sin embargo, es posible que durante los minuciosos debates sobre el uso y la sustitución de las sustancias agotadoras del ozono, se haya pasado por alto el verdadero significado que la protección de la capa de ozono tiene para la salud y el bienestar de todas las personas que habitan el planeta, en aras de la complejidad de los procesos estratosféricos y otras cuestiones similares. Ese "rostro humano" relacionado con la protección a la capa de ozono es precisamente el que se explora a través de este documento.

La presente publicación resume la percepción actual que tenemos sobre la manera en que los cambios en la capa de ozono afectan la salud humana, no solo en el mundo en el que actualmente vivimos, sino también en el "mundo que hemos evitado", es decir, el mundo en el que viviríamos de no haber sido capaces de controlar las sustancias agotadoras de la capa de ozono. Haciendo eco a las palabras del

Convenio de Viena, si examinamos el "mundo evitado" podemos ver con claridad la magnitud de "los efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente" que hemos podido evitar mediante la eficaz implementación del Protocolo de Montreal.

El éxito del Protocolo de Montreal ha sido ampliamente reconocido, tanto por haber logrado sus objetivos directos - la eliminación de las sustancias agotadoras del ozono y la consiguiente desaceleración del agotamiento del ozono - como en lo que se refiere a los beneficios para el medio ambiente y la salud.

Los considerables beneficios para la salud pública que se derivan de la reducción de la radiación UV son particularmente importantes para demostrar el éxito del Protocolo y su contribución a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) que buscan "garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y luchar contra las enfermedades".

Nuestro propósito es que esta publicación sirva a las Unidades Nacionales del Ozono y otras personas interesadas, incrementando la visibilidad del Protocolo de Montreal y contribuyendo a concientizar y educar al público general sobre sus propósitos. *"La educación es el arma más poderosa que podemos utilizar para cambiar el mundo"* (Nelson Mandela). Trabajemos juntos para educar sobre la protección de nuestro medio ambiente común, la preciosa capa de ozono.

Expresamos nuestro agradecimiento al profesor Nigel Paul por su excelente trabajo al convertir temas de carácter altamente científico en material de fácil comprensión para todos los interesados. También damos las gracias a todos los revisores por sus contribuciones voluntarias a esta publicación.

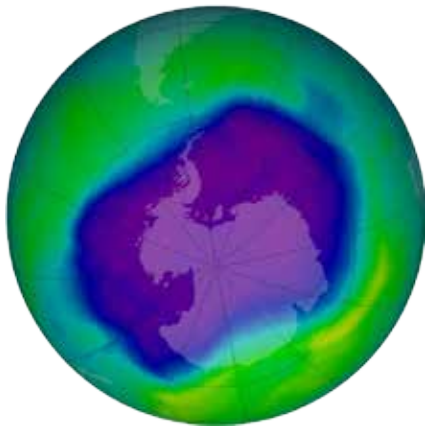
Shamila NairBedouelle
Jefa, Programa Acción por el Ozono

Introducción

“El ejemplo del Protocolo de Montreal muestra claramente que no solo es posible hacer frente a los principales problemas globales, sino que los beneficios financieros y humanos superan invariablemente el costo”.

Ban Ki-Moon, Secretario General de las Naciones Unidas

El Secretario General Ban Kimoon no es el único que considera el Protocolo de Montreal entre los mejores y más grandes esfuerzos globales por proteger nuestro planeta. El éxito del Protocolo de Montreal es, sin duda, incuestionable. Desde que fuera firmado en 1987 se ha conseguido reducir las emisiones de las principales sustancias agotadoras capa de ozono hasta el punto de casi detenerlas por completo. Podemos estar seguros de que la capa de ozono estratosférico ha comenzado a recuperarse. Gracias a los esfuerzos conjuntos de los 197 signatarios del Protocolo hemos logrado “tapar el agujero de la capa de ozono”.



© Ozone Watch

Cuando pensamos en el ozono estratosférico, lo primero que se viene a la mente de la mayoría de nosotros es ‘el agujero en la capa de ozono sobre la Antártida’. Esta imagen se ha convertido en símbolo de la protección al medio ambiente, pero también puede haber creado la impresión de que el agotamiento del ozono se produce exclusivamente sobre un continente remoto y deshabitado. Son muchos los que abogan por el valor inherente que conlleva la protección de la Antártida y los animales que la habitan, pero ¿es ése el único motivo para proteger la capa de ozono?

¿Qué sucede con la salud humana, los cultivos o los ecosistemas? Evidentemente, proteger la capa de ozono también supone protegerlos, pero ¿cómo? ¿Cómo puede el ozono, que a fin de cuentas es una minúscula fracción de la atmósfera (menos de una parte por millón), y cuya presencia se circunscribe casi en su totalidad a un espacio a muchos kilómetros de altura en la atmósfera, afectar realmente a los humanos y demás formas de vida sobre la superficie terrestre?

Las amplias investigaciones realizadas a lo largo de varias décadas (ver la Tabla 1) han permitido explicar el potencial que tiene el ozono estratosférico para cambiar las condiciones de la superficie terrestre, y cómo sus cambios afectarían la salud humana.

La salud humana es afectada principalmente por el aumento en la radiación UV que llega a la superficie terrestre como consecuencia del agotamiento de la capa de ozono.

Hoy sabemos que el componente ultravioleta de la luz solar ejerce una multitud de efectos sobre la salud humana. Dados que los seres humanos han estado expuestos a niveles determinados de radiación UV durante

millones de años, existe un equilibrio entre los efectos perniciosos tanto por escasez como por exceso de radiación UV (Figura 1). Sin embargo, solo ahora empezamos a entender con claridad el tipo de destrucción que habría sufrido la capa de ozono si el Protocolo de Montreal no se hubiera implementado con éxito. Con base en este conocimiento podemos valorar de qué forma esos cambios podrían haber afectado la salud humana.

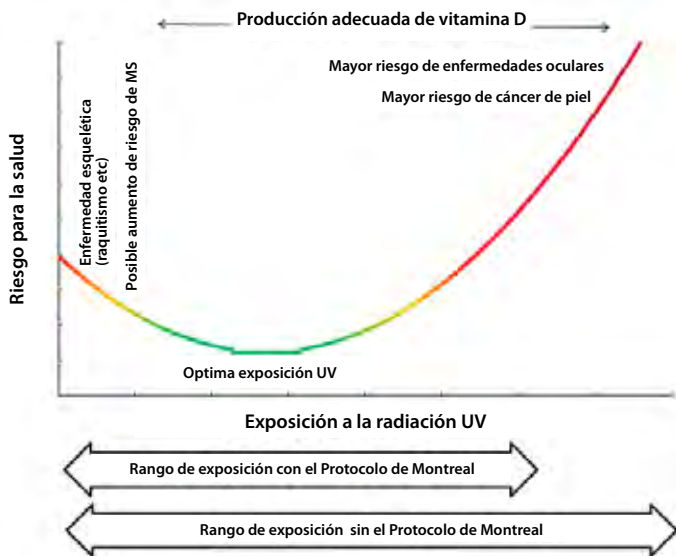


Figura 1. Relación “en forma de U” entre la radiación UV y la salud. La exposición actual a la radiación UV plantea riesgos tanto por exposición insuficiente (por ejemplo, en latitudes altas durante el invierno) como excesiva (por ejemplo, debido al deseo de ponerse bajo el sol durante el verano, especialmente en latitudes bajas). Los riesgos de una exposición insuficiente incluyen una mayor incidencia de ciertas enfermedades óseas y quizá de algunas enfermedades autoinmunes como la esclerosis múltiple. El gran aumento de radiación ultravioleta resultante del agotamiento incontrolado de la capa de ozono incrementaría de manera significativa los riesgos asociados al exceso de radiación UV, incluyendo cánceres de piel y enfermedades oculares. Estos temas se examinan en detalle más adelante en esta publicación.

Desde 1987, el Grupo de Evaluación de Efectos Ambientales ha puesto a disposición de las Partes del Protocolo de Montreal evaluaciones actualizadas realizadas por expertos respecto de los avances en la investigación sobre los efectos del agotamiento del ozono. El Grupo evalúa toda la gama de posibles efectos del agotamiento del ozono y el aumento de la radiación UV [1] en los ecosistemas acuáticos [2] y terrestres [3], los ciclos ambientales [4], la calidad del aire [5] y los materiales de construcción [6]. Los efectos de la pérdida de ozono sobre la salud humana siempre han sido un importante tema de interés para las Partes y por lo tanto, un objetivo primordial de la evaluación del Grupo [7]. En el presente folleto se hace amplia referencia al informe más reciente del Grupo de Evaluación de los Efectos Ambientales, publicado en 2015 [17].



La radiación ultravioleta: vínculo fundamental entre el ozono estratosférico y la salud humana

La radiación ultravioleta es el vínculo entre los cambios en la concentración de ozono en las capas altas de la atmósfera y los efectos que en consecuencia se manifiestan sobre la superficie terrestre, el medio en el que todos vivimos. La luz que vemos (los colores del arco iris, del rojo al violeta (Figura 2)) es solo una pequeña parte del espectro de radiación que conforma la luz solar. El Sol emite un amplio espectro de radiación, que va desde las ondas de radio (longitud de onda larga/ baja energía) hasta los rayos gamma (longitud de onda corta/alta energía). La radiación UV abarca desde longitudes de onda apenas muy cortas para ser vistas por el ojo humano, hasta longitudes de onda mucho más cortas.

Las longitudes de onda UV que son más cortas se denominan ultravioletaC (abreviadas a menudo como UVC). La atmósfera absorbe por completo la radiación UVC presente en la luz solar espacial, de forma que ésta no llega hasta la superficie terrestre.

La atmósfera terrestre no afecta significativamente las longitudes de onda UV de mayor longitud, es decir la llamada radiación ultravioletaA (UVA). Ni el ozono ni otros gases presentes en la atmósfera absorben de manera significativa esta

radiación por lo que los rayos UVA sí llegan a la superficie terrestre, donde muchos animales son capaces de verlos y de hecho influyen considerablemente sobre su comportamiento. Hay indicios de que los humanos recién nacidos pueden percibir los rayos UVA, pero estos luego se tornan invisibles para los adultos. Aun así, somos conscientes de su existencia debido a los efectos que tienen sobre nuestra piel. Los rayos UVA son los que mayoritariamente estimulan el bronceado en las pieles pálidas, pudiendo a largo plazo provocar el envejecimiento de la piel y contribuir a otros problemas cutáneos.

El estrecho margen de radiación que existe entre los rayos UVA y los UVC recibe el nombre de radiación ultravioletaB (UVB). El ozono absorbe una parte muy considerable de estos rayos UVB, de manera que los daños a la capa de ozono permiten que estos lleguen a la superficie terrestre en mayor concentración. Como personas, usualmente somos más conscientes de la radiación UVB porque es la parte de la luz solar que nos provoca quemaduras en la piel pocas horas después de estar bajo sus intensos rayos. **La exposición a niveles excesivos de radiación UVB durante largos periodos de tiempo puede conducir a problemas de salud mucho más graves.**



Copyright © Jana Masickova

Figura 2. La luz que vemos, como los colores del arco iris, es apenas una fracción de la radiación emitida por el Sol. Si pudiéramos ver más allá de los colores del arco iris, la radiación de menor longitud de onda como es la ultravioleta, aparecería en forma de una franja adicional bajo el color violeta del arco iris. Si los seres humanos tuviésemos “visión ultravioleta”, la radiación UVA aparecería como otra franja de color inmediatamente debajo del color violeta. Muchas aves e insectos son capaces de ver esta radiación, con lo que pueden apreciar un color adicional en el arco iris, invisible a nuestros ojos. De poder verla, la radiación ultravioleta B (UB) aparecería como una franja adicional bajo aquella correspondiente a la radiación UVA. Si pudiéramos distinguirla como un color, quizá podríamos ver el agotamiento del ozono en el arco iris, pues la franja del UVB, y solamente esa, se haría más brillante con el avance de la radiación UVB hacia la superficie terrestre.

La radiación ultravioleta y la salud humana: medio ambiente, biología y comportamiento

Para comprender los efectos de la radiación ultravioleta sobre la salud humana, debemos considerar no solo factores ambientales como la capa de ozono, sino también factores biológicos (por ejemplo, de qué forma las diferentes longitudes de onda UV impactan las moléculas biológicas) y de comportamiento humano.

Medio ambiente

Para que la radiación ultravioleta afecte la salud del ser humano, primero debe atravesar la atmósfera y alcanzar la superficie terrestre.

La radiación UVC no llega hasta la superficie de la Tierra, ni siquiera en casos de agotamiento extremo del ozono, por lo que esos rayos UVC no afectan la salud humana (pese a que son muy nocivos cuando los emiten fuentes artificiales como equipos de soldadura o lámparas especializadas). Tanto los rayos UVA como los UVB penetran la atmósfera hasta llegar a la superficie terrestre, por lo que potencialmente pueden afectar la salud.

Biología

Los efectos de los rayos UVA y UVB sobre la salud humana se relacionan con la capacidad de las moléculas biológicas para absorberlos, lo cual si sucede, ocasiona importantes cambios. La naturaleza química de las moléculas que son esenciales para la vida como el ADN y las proteínas hace que puedan

absorber rayos UVA o UVB que con frecuencia, aunque no siempre, son perjudiciales para su función (ver la Tabla 2). El daño que la radiación ultravioleta causa en las moléculas básicas de la vida puede en última instancia afectar la salud humana, aunque es evidente que no todo el mundo reacciona a la luz solar de la misma manera. Las pieles con pigmentación más oscura poseen cierto grado de protección contra los daños provocados por la radiación UV, pero esta no es nunca total [7].

Comportamiento

Todos podemos decidir a qué grado queremos exponernos a los rayos del sol. Quizá sea una obviedad, pero la radiación ultravioleta no puede afectar nuestra salud a menos que estemos en contacto con ella. Si optamos por no salir al aire libre, o por permanecer a la sombra, especialmente hacia mediodía cuando la radiación ultravioleta es más intensa, estaremos minimizando el riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con la exposición excesiva a la radiación UV, entre ellas los cánceres de piel y las cataratas. Por otra parte, si nos exponemos voluntariamente al Sol con el ánimo de broncearnos, inevitablemente estaremos aumentando el riesgo que conlleva la sobreexposición a los rayos UV. Otras opciones, como proteger nuestra piel y ojos con ropas y sombreros, son también factores importantes que inciden sobre este riesgo.

El ADN es probablemente más conocido como el “código genético” que transmitimos de generación en generación. Sin embargo, el ADN también es un “manual de instrucciones” que permite a todas las células de nuestro cuerpo ejecutar su función correspondiente. Si este manual de instrucciones sufre desperfectos, las células pueden morir o funcionar de manera incorrecta y eso es precisamente lo que puede suceder cuando una célula entra en contacto con la radiación UV del sol, en particular a la UVB. Algunos de los componentes del ADN absorben la radiación UVB, lo que puede descomponer o distorsionar la estructura del ADN y alterar su funcionamiento.

En ocasiones, el daño que causa la radiación UVB al ADN es tan grande que la célula muere: sin embargo, nuestro cuerpo puede sustituir con rapidez las células muertas. Por otra parte, el daño que sufre el ADN puede repararse (nuestras células son capaces de hacerlo por distintos medios) y la célula continúa funcionando normalmente. La principal amenaza para la salud se produce cuando las células sobreviven pero el ADN no se repara adecuadamente. Dependiendo de la naturaleza exacta del daño, no siempre se observarán problemas inmediatos. Sin embargo, si el ADN de la célula vuelve a sufrir daños, quizás como consecuencia de una nueva exposición a la radiación UVB u otros factores físicos o químicos, el daño acumulado puede ser suficiente para desencadenar cambios en la función celular, que en última instancia provocan la aparición de cánceres.

Si el ADN es el “manual de instrucciones”, las proteínas son igualmente indispensables, bien sea como herramientas mediante las cuales se ejecutan las instrucciones o como piezas a partir de las cuales se construye la célula. El efecto de la radiación UV sobre el envejecimiento cutáneo es consecuencia del daño directo causado a las proteínas encargadas de mantener la estructura de la piel. Las cataratas también resultan del daño que los rayos UV causan en las proteínas, en este caso aquellas que se encuentran en el cristalino del ojo.

Por último, la radiación ultravioleta que absorbe nuestra piel desencadena las reacciones químicas mediante las cuales producimos vitamina D, razón por la que esta vitamina se conoce como “la vitamina de la luz solar”. Si bien podemos obtener vitamina D de algunos alimentos (como los peces grasos) y algunos alimentos son enriquecidos con vitamina D, para la mayoría de habitantes la exposición al sol es esencial para contar con la vitamina D necesaria para la salud.

“Cada año se
diagnostican en el mundo
entre dos y tres millones
de casos nuevos de
cáncer de piel”



El cáncer de piel, un problema mundial de salud

El cáncer de piel no es una enfermedad única, pero en la mayoría de los casos corresponde a uno de los siguientes tipos de cáncer: carcinoma baso-celular, carcinoma de células escamosas (ambos conocidos también como cánceres de piel distintos al melanoma) y melanoma maligno (ver la Tabla 3 para más información). Cada año se registran en el mundo entre dos y tres millones de casos nuevos de cáncer de piel, es decir, estos representan alrededor de un tercio de todos los nuevos casos de cáncer. En algunas poblaciones de tez clara, los cánceres de piel son la forma más común de cáncer.

Durante las últimas décadas se ha registrado un significativo aumento en la incidencia de estas enfermedades. El incremento de los cánceres de piel es un fenómeno mundial, especialmente en personas de piel clara. La incidencia de cánceres de piel diferentes al melanoma se ha más que duplicado en varios países desde la década de 1960, siendo particularmente evidente el aumento de los melanomas malignos (de los que por lo general se lleva un mejor registro en las bases de datos de los sistemas de salud públicos).

Desde la década de 1960, el número de casos de melanoma maligno entre personas de tez clara se ha ido multiplicando aproximadamente por dos, en intervalos de 10 a 20 años [7].

El alarmante aumento del melanoma maligno plantea preguntas muy serias sobre de las causas subyacentes de este fenómeno.

Los cánceres de piel y la radiación UV

La relación entre la radiación ultravioleta y el desarrollo de melanomas malignos y otros cánceres de piel ha sido claramente establecida a partir de varias líneas de evidencia [7].

- El riesgo de desarrollar melanoma maligno y otros cánceres de piel en las poblaciones de piel clara es mayor en las latitudes bajas, precisamente donde la radiación solar ultravioleta es más intensa.
- Algunas formas de cánceres de piel diferentes al melanoma aparecen con mayor frecuencia en la cara, el cuello y los antebrazos, es decir, aquellas partes del cuerpo que con más frecuencia están expuestas al sol a lo largo de la vida.
- Entre los jóvenes, el melanoma maligno se presente habitualmente en las extremidades y el torso, y de hecho, en términos generales, durante las últimas décadas los melanomas malignos en las poblaciones de piel clara aparecen con más frecuencia en el torso. Estas observaciones indican que la exposición intermitente a una intensa radiación UV es un importante factor de riesgo en el desarrollo de melanomas malignos; también parece evidente que este tipo de exposición al sol esté asociada a la aparición de algunos cánceres de piel diferentes al melanoma.

Melanoma maligno

Entre los cánceres de piel, solamente 4% a 5% son melanomas malignos (gráfico 3) que si son diagnosticados precozmente, pueden tratarse con gran eficacia; sin embargo, sin un tratamiento adecuado el melanoma maligno puede extenderse a otras partes del cuerpo y en realidad pese a conformar el 5% de los casos, el melanoma maligno causa de entre el 75% y el 80% de todas las muertes por cáncer de piel. Aún cuando el melanoma maligno es mucho más común entre las personas de tez clara, también se manifiesta en personas de piel oscura. La información recogida en Estados Unidos señala que el melanoma maligno es aproximadamente 20 veces menos frecuente entre los estadounidenses de piel negra que entre sus conciudadanos de piel blanca. Sin embargo, los síntomas tempranos del melanoma son más difíciles de identificar en pieles oscuras y es probable que cuando se haga el diagnóstico la enfermedad se encuentre en una etapa avanzada, lo cual reduce las probabilidades de lograr un tratamiento exitoso.



Figura 3. Imagen ilustrativa de un melanoma maligno

Carcinoma baso-celular y carcinoma de células escamosas

Un 95% de los cánceres de piel pertenecen al grupo “distintos al melanoma”, nombre colectivo que abarca los carcinomas baso-celulares y los carcinomas de células escamosas. El carcinoma baso-celular es entre tres y cuatro veces más común que el carcinoma de células escamosas. Pese a ser mucho más comunes que los melanomas malignos, los cánceres de piel distintos al melanoma resultan mortales en mucho menor grado, pero aun así, pueden propagarse en forma desordenada y provocar tumores, desfiguraciones, pérdida de calidad de vida e importantes problemas para la salud. Adicionalmente, las cirugías para eliminar los cánceres de piel distintos al melanoma son dolorosas y pueden provocar desfiguraciones. Al igual que con el melanoma maligno, los cánceres de piel distintos al melanoma son menos comunes en las poblaciones de piel oscura, sin embargo también es frecuente que en ellas sean diagnosticados mucho más tarde que en las personas de tez clara, lo que conlleva mayores problemas de salud y supone un mayor riesgo de muerte.

La exposición al sol durante un tiempo suficiente para provocar quemaduras severas parece ser un factor de riesgo particularmente influyente sobre la aparición de melanomas malignos, en especial cuando ocurre durante la infancia. Esto pone de relieve un aspecto clave en la relación que existe entre la radiación UV y el cáncer de piel. **Pueden pasar años, incluso décadas, entre el daño inicial causado por la radiación UV y la aparición del cáncer de piel.** Dicho de otra manera: el melanoma maligno que se manifiesta ahora no es consecuencia de la exposición a la radiación ultravioleta ocurrida hace uno o dos años, sino de aquella que pueda haber tenido lugar hasta 20 años atrás. Ese margen de tiempo es clave para comprender el aumento de los cánceres de piel durante las últimas décadas [7].

El cáncer de piel en relación con los cambios recientes en la radiación UV y nuestro comportamiento respecto al Sol

Con la exitosa implementación del Protocolo de Montreal, el incremento de la radiación ultravioleta resultante del agotamiento del ozono ha sido bajo. De hecho, exceptuando un par de breves incidentes, el aumento de radiación UV en la mayoría de los lugares habitados del planeta ha sido difícil de medir, dado que las nubes y otros factores también inducen variaciones los niveles de UV [1].

Sin el Protocolo de Montreal, el mundo sería hoy un lugar diferente. Sin embargo, su éxito hace difícil explicar solamente en términos

de un agotamiento incontrolado del ozono el gran incremento actual de los cánceres de piel,. ¿Qué es entonces lo que ha provocado la creciente incidencia de cáncer de piel que observamos durante las últimas décadas?

Parte de este aumento puede deberse a una mayor conciencia pública sobre los cánceres de piel, que haya dado lugar a que se registren con mayor frecuencia. La gran visibilidad que han dado los medios al agotamiento del ozono y sus riesgos, ha contribuido a sensibilizar la población al respecto y probablemente ha salvado vidas gracias al diagnóstico y tratamiento en fase temprana.

Sin embargo, resulta evidente que la mayor incidencia de cánceres de piel no es explicable solamente por el hecho de que en la actualidad se registren con mayor rigor. Es evidente que estos cánceres van al aumento, y que el principal factor que incide sobre su desarrollo seguramente sea la manera como muchas personas se exponen al sol actualmente [7]. Durante los últimos cincuenta años la gente ha tenido cambios de comportamiento que implican una mayor exposición al sol como son:

- preferencia por las pieles bronceadas entre las poblaciones de tez clara, especialmente vulnerables a los daños causados por el sol;
- cambios en la moda, el estilo de ropa y los sombreros, que ahora dejan más piel expuesta, durante más tiempo;
- cambios en las actividades de esparcimiento y descanso, que llevan a la gente a pasar más tiempo bajo el sol, incluyendo "vacaciones al sol" en regiones con intensa radiación UV.

En conjunto, estos cambios representan una mayor exposición individual a la radiación UV y por consiguiente un mayor riesgo de sufrir cáncer de piel. Aún cuando las campañas de salud pública han generado una mayor conciencia sobre la importancia de la protección solar, no siempre por ello

cambian los comportamientos. **La necesidad de continuar con los esfuerzos para cambiar este tipo de actitudes y comportamientos sigue siendo una prioridad urgente de la salud pública, independientemente de los cambios que puedan presentarse en el futuro en la capa de ozono (ver la Tabla 4).**



Copyright © Ezra Clark



© Sécurité Solaire



A principios de la década de 1990, la percepción de la amenaza que se cernía sobre la capa de ozono y un comprobado y fuerte aumento de los cánceres de piel impulsaron a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos a establecer el programa INTERSUN, cuyos objetivos son los siguientes:

- proporcionar información, asesoramiento práctico y predicciones científicas sólidas con respecto a los efectos de la radiación UV sobre la salud;
- alentar a los países a que adopten medidas para reducir los riesgos para la salud que causa la radiación UV; y
- brindar orientación a las autoridades nacionales y otros organismos, sobre la eficacia de los programas de sensibilización respecto al Sol.

Aún cuando el Protocolo de Montreal ha conseguido evitar un aumento sustancial en los niveles de radiación UV, la labor de INTERSUN continúa siendo una prioridad internacional. Cada persona tiene opciones de comportamiento que impactan su exposición al Sol, por lo que la información y la educación son inmensamente importantes.

El programa INTERSUN promueve el uso del índice UV como parámetro ampliamente conocido, comprensible y disponible al público para medir los riesgos de la exposición a la radiación UV sobre la salud (Tabla 7).

El índice UV se basa en una sencilla escala del 1 al 12 (actualmente se está ampliando hasta el 15 para reflejar los altos niveles de radiación UV en las montañas de los trópicos), que permite expresar variaciones en el componente UV de la luz solar en función de la hora, la estación, la latitud y la nubosidad, constituyendo una base sobre la que las personas pueden tomar decisiones fundamentadas con respecto al tiempo que pasarán bajo el sol, la ropa protectora o cremas solares que usarán, etc.

Sin embargo, para poder tomar decisiones sensatas en relación con la radiación UV y sus riesgos, se requiere una educación eficaz. Acorde con esta necesidad, INTERSUN da especial prioridad a los programas educativos para niños, toda vez que la excesiva exposición al sol durante los primeros años de vida es uno de los principales factores de riesgo para que más tarde aparezcan melanomas malignos y otros cánceres de piel. Un buen ejemplo de estos programas es la tendencia a dirigir la información a los propios niños, los maestros, los profesionales de la salud y los salvavidas, pues son personas que se encuentran “en primera línea” en lo que se refiere a la exposición al Sol y comportamientos conexos.

El Protocolo de Montreal y el futuro de la capa de ozono: el mundo en que vivimos y el mundo que evitamos

En 2014, el PNUMA anunció que la capa de ozono empezaba a recuperarse [8]. Podemos comenzar a anticipar la recuperación progresiva de la capa de ozono mundial durante el siglo XXI [1, 8]. De mantenerse el control efectivo de las sustancias que agotan el ozono, el cambio climático probablemente se convierta en el principal factor que impacta la capa de ozono, siendo incluso posible que en el futuro lleguemos a presenciar una “sobre-recuperación” en las latitudes intermedias, donde el ozono aumente por encima de los niveles que existían en la década de 1960 y años anteriores [1, 8].

Naturalmente ese futuro, el futuro en el que viviremos, no era el único posible cuando se constató por primera vez el agotamiento de la capa de ozono. Los mismos modelos atmosféricos y climáticos que nos permiten predecir el futuro de la capa de ozono desde su situación actual, también nos permiten vaticinar lo que habría sucedido con el ozono de no haber sido por el Protocolo de Montreal: el “mundo que evitamos”.

De hecho, hay varios modelos publicados que consideran la capa de ozono en ese “Mundo Evitado” [1]. Cada uno de ellos utiliza métodos e hipótesis ligeramente diferentes, pero todos destacan la gravedad de los cambios que se habrían producido sin un control eficaz de las sustancias que agotan la capa de ozono. Todos coinciden en que el ritmo de destrucción del ozono se habría acelerado con el tiempo y se habría extendido hasta afectar a todo el planeta (Figura 4). Los cambios previstos en la atmósfera de los trópicos son especialmente llamativos sobre todo desde la perspectiva actual, pues en este momento el agotamiento del ozono es un fenómeno principalmente polar. **Los modelos predicen que el ozono sobre los trópicos se habría mantenido relativamente estable hasta mediados de siglo, para luego desvanecerse rápidamente.**

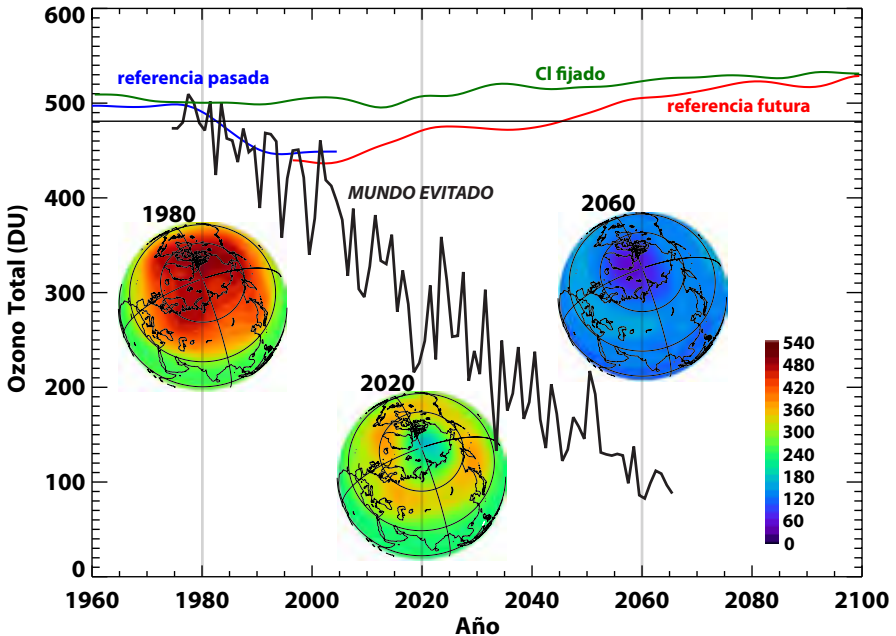


Figura 4. El agotamiento de la capa de ozono a lo largo del siglo XXI en el hipotético “mundo evitado”. Los datos simulan el mes de abril en el hemisferio Norte del “mundo evitado”, es decir, un mundo en el que el Protocolo de Montreal no se hubiera implementado exitosamente (en negro) y en un mundo futuro, en el que Protocolo de Montreal sí se ha aplicado exitosamente (en rojo). Las dos líneas adicionales simulan el ozono entre 1960 y 2005 (azul, y un mundo en el que las sustancias agotadoras del ozono no habrían sobrepasado los niveles de 1960 (verde). Las imágenes en falso color muestran la distribución geográfica del ozono en 1980, 2020 y 2060 (escala en unidades Dobson). Obsérvese la desintegración del ozono estratosférico en 2060. Reproducido con permiso de Newman *et al.*, 2009 [9].



“Hacia el año 2100, el Protocolo de Montreal habrá impedido cerca de 300 millones de casos de cáncer de piel solamente en los Estados Unidos”

La desintegración del ozono global habría tenido severos efectos sobre la radiación ultravioleta. Usando el índice UV como escala simple (ver la Tabla 7), veremos que los grados de radiación ultravioleta que experimentamos actualmente en la mayor parte del planeta están en un rango de 0 a 12. En las zonas tropicales de gran altitud, por ejemplo en los Andes, el índice UV puede llegar a 15, y hasta valores por encima de 25 durante cortos períodos, en casos excepcionales. La Organización Mundial de la Salud define un índice UV mayor a 10 como “de riesgo extremo para la salud si hay exposición desprotegida al sol”. Esta descripción suele ir acompañada de una advertencia: “sin protección, los ojos y la piel pueden sufrir quemaduras en cuestión de minutos”. La escala actual ofrece un útil contexto para predecir los modelos del “mundo evitado”.

Sin el Protocolo de Montreal, **sería habitual registrar índices UV por encima de 25 - que actualmente consideramos un absoluto extremo - en casi todas las regiones habitadas del planeta** (Figura 5). En las zonas bajas de los trópicos, el índice UV se situaría por encima de 50, cuatro veces lo que actualmente consideramos “extremo”. Es probable que a lo largo de su evolución, el ser humano no haya experimentado nunca los niveles extremos del UV a los que se habría llegado de no ser por el Protocolo de Montreal. Cada vez está más claro que los efectos de esos índices extremos de UV en el “mundo evitado” se habrían reflejado en los cánceres de piel y otros aspectos de la salud humana.

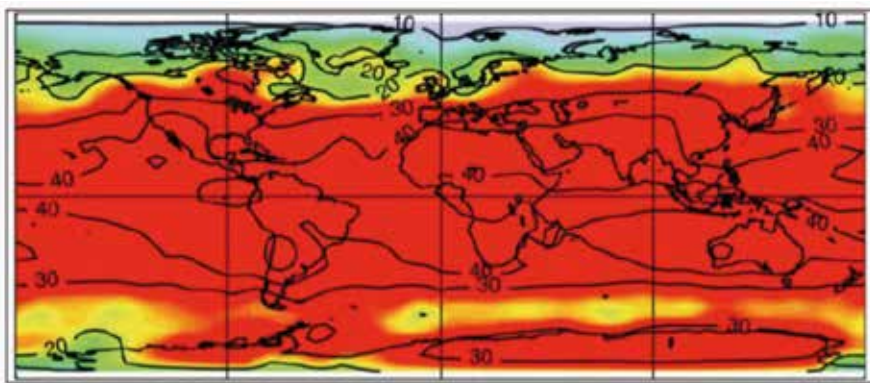


Figura 5. El índice UV en el “mundo evitado”. Los datos corresponden al índice UV de 2090 en el “mundo evitado” (ver la Tabla 7) es decir, un mundo sin el Protocolo de Montreal. Las regiones coloreadas en rojo superan los niveles del índice máximo de UV que se presenta actualmente sobre la Tierra (aproximadamente 25, y solo en condiciones excepcionales a gran altitud en los Andes). Reproducido con el permiso de Egorova *et al*, 2013 [10].

Cánceres de piel en el mundo evitado

Actualmente se dispone de un número cada vez mayor de modelos que muestran la forma en que el ozono estratosférico y el índice UV habrían cambiado de no existir el Protocolo de Montreal [1, 8]. Desde la década de 1990 estos modelos, junto con una mejor comprensión de la relación que existe entre una excesiva exposición a los rayos UV y los cánceres de piel, sirven para estimar cuantitativamente la incidencia del cáncer de piel en el “mundo evitado”.

Un modelo reciente encabezado por el Instituto Nacional de los Países Bajos para la Salud Pública y el Medio Ambiente [11], que se basa en modelos anteriores del mismo Instituto, examina los posibles cambios en la incidencia global de cánceres de piel en

el “mundo evitado” (Figura 6). La cifra más destacada de esta investigación **indica que hacia el 2030, el Protocolo de Montreal habrá evitado aproximadamente dos millones de cánceres de piel por año en todo el mundo**[11]. Este modelo no va más allá de 2030, pero si en una estimación muy conservadora suponemos que los efectos sobre el cáncer de piel durante el resto del siglo no van a ser peores que los previstos para 2030, obtendremos un total aproximado de 150 millones de cánceres de piel evitados antes de 2100.

Aun así - como se dijo anteriormente - existe un desfase de años, cuando no decenios, entre el daño sufrido inicialmente por la piel a causa de la radiación UV y la aparición visible de un

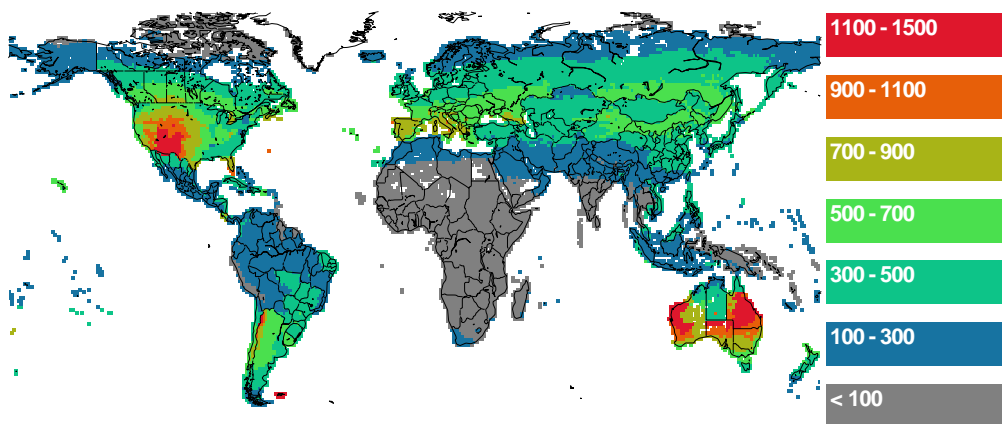


Figura 6. Estimación de los cánceres de piel que han sido evitados por el Protocolo de Montreal en el año 2030, basada en diferentes modelos. Los datos corresponden a nuevos casos por millón de personas y año. Reproducido con permiso, de Van Dijk *et al*, 2013 [11].

cáncer de piel. Eso significa que el aumento de cánceres de piel en la década de 2030 sería en gran medida consecuencia de la exposición a la radiación UV a finales de la década de 1990 o en los primeros años del siglo XXI. Todo ello sucedería antes del agotamiento generalizado de la capa de ozono previsto para mediados de siglo en el “mundo que evitamos”.

Otros modelos calculan los efectos a largo plazo del Protocolo de Montreal sobre la reducción de los cánceres de piel, pero solo tienen en cuenta algunas regiones del mundo. El primero de estos modelos se remonta a 1996 [12] y es parte de una investigación

que evalúa la evolución de los patrones de incidencia del cáncer de piel hasta 2100 en Estados Unidos y Europa Noroccidental. Este modelo preveía que sin no se hubiese protegido la capa de ozono, la incidencia de cáncer de piel habría aumentado progresivamente, de forma relativamente lenta durante los primeros decenios del siglo, pero luego a un ritmo mucho mayor (Figura 7). **El estudio pronostica que llegado el año 2100, la implementación eficaz del Protocolo de Montreal habrá evitado cerca de dos millones de nuevos casos de cáncer de piel cada año, solamente en los Estados Unidos de América y Europa Noroccidental.**

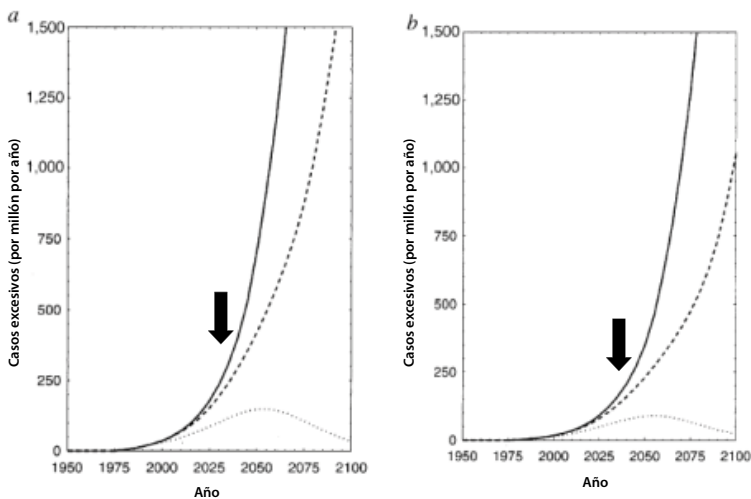


Figura 7. Estimaciones basadas en modelos para predecir el aumento de los cánceres de piel en a) Estados Unidos y b) Europa Noroccidental en un “mundo evitado”, es decir, sin la eficaz aplicación del Protocolo de Montreal, en comparación con una base de referencia en la que este ha tenido una plena implementación. Las flechas indican 2030, fecha utilizada en el modelo global de cánceres de piel evitados (ver Figura 6). Modificado de Slaper *et al*, 1996 [12].

Los modelos elaborados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) también proporcionan información sobre los beneficios para la salud que el Protocolo de Montreal representa a largo plazo, en términos de cánceres de piel en el "mundo evitado". Estos modelos, el primero de los cuales apareció en 2006 [13] y que fue actualizado en 2015 [14], examinan la incidencia de cánceres de piel solo en los Estados Unidos en personas nacidas entre 1980 y 2100. **El informe de la EPA publicado en 2015 [14] estima que el Protocolo de Montreal y sus enmiendas evitarán entre 275 y 330 millones de casos de cáncer de piel diferentes al melanoma solo en los Estados Unidos y entre 8 y 10 millones de casos de melanoma maligno.** Aún con el alto nivel que tienen los tratamientos médicos disponibles en los Estados Unidos, estos

cánceres adicionales habrían supuesto más de un millón y medio de muertes. El informe del 2006 de la misma agencia [13] resalta que la mayoría de los casos adicionales de cáncer de piel se habrían producido en la última parte del siglo, y que más del 80% habrían afectado a personas nacidas después de 2015 [13].

Ninguno de estos modelos pretende hacer predicciones cuantitativas exactas sobre la incidencia futura del cáncer de piel. Todos tienen en cuenta las limitaciones que tienen los métodos utilizados y admiten las incertidumbres asociadas a las predicciones propuestas. (ver la Tabla 5) Sin embargo, todos coinciden en un cálculo aproximado según el cual hacia el 2100 el Protocolo de Montreal habrá evitado al menos 100 millones de casos de cáncer de piel, probablemente muchos más.



Copyright © Ezra Clark

Todos los modelos sobre incidencia de cáncer de piel en el “mundo evitado” procuran tener muy presentes las limitaciones de sus predicciones. Al igual que con cualquier aspecto relacionado con los efectos del agotamiento de la capa de ozono sobre la salud humana, los modelos que pretenden predecir la incidencia futura del cáncer de piel deben considerar los factores ambientales, la biología subyacente de la enfermedad y el comportamiento humano.

De estos tres factores, probablemente las variables ambientales sean las que menos incertidumbre generan, pues se refieren a los cambios futuros en el ozono y la radiación UV. Sin embargo, a medida que los modelos se han ido refinando, han incorporado una mejor comprensión de las tendencias que afectan las sustancias agotadoras del ozono y el propio ozono, como son los efectos del clima sobre el ozono estratosférico. También se ha perfeccionado la forma en que los modelos tienen en cuenta las nubes y otros factores que influyen sobre la radiación UV.


La incertidumbre biológica incluye los efectos de las diferentes longitudes de onda de la radiación UV sobre los principales tipos de cáncer de piel, sus tasas de mortalidad, la importancia relativa de diferentes patrones de exposición a la radiación UV y los efectos protectores de la pigmentación de la piel. También deben tenerse en cuenta los efectos del crecimiento y envejecimiento de la población.

El informe de la EPA publicado en 2006 [13] sugiere que los factores biológicos pueden representar el 60% de la incertidumbre en el cálculo aproximado de los cánceres de piel en los Estados Unidos, así que es evidente que si se amplían los modelos para abarcar la población mundial, dicha incertidumbre tenderá a aumentar aún más.

Las mayores incógnitas a la hora de predecir la incidencia del cáncer de piel se originan en el comportamiento humano. De no existir el Protocolo de Montreal, el ser humano seguramente habría tomado plena conciencia de la amenaza que encierra la radiación ultravioleta.

Al optar por evitar el sol, la gente podría haber evitado al menos parte de los cánceres de piel que pronostican los modelos actuales.

Los cambios de comportamiento que habrían sido necesarios no son claros. Vivir en el “mundo que evitamos” habría supuesto tolerar niveles de radiación UV varias veces mayores que los que en la actualidad se consideran “capaces de provocar quemaduras de piel y ojos en cuestión de minutos” si no se usa protección. No es fácil imaginar los cambios de comportamiento que hubiese sido necesario asumir para sobrevivir en dicho mundo.

A photograph of two children jumping joyfully in the ocean at sunset. The sun is low on the horizon, creating a bright, golden glow that silhouettes the children. The child on the left is wearing a striped tank top and dark shorts, while the child on the right is wearing a light-colored t-shirt and shorts. Both have their arms raised in the air. The water is splashing around their feet, and the overall scene is one of pure happiness and carefree fun.

“Las mayores
incógnitas a la
hora de predecir
la incidencia del
cáncer de piel
se originan en el
comportamiento
humano”

Los cánceres de piel en el futuro que esperamos

Como se indicó anteriormente, el Protocolo de Montreal ha impedido que tenga lugar un gran aumento en la radiación UV, al frenar el agotamiento de la capa de ozono. Asumiendo que la implementación del Protocolo de Montreal continúe sin interrupciones, se prevé en la actualidad que el ozono estratosférico aumente a lo largo del siglo XXI particularmente en las latitudes elevadas del hemisferio Sur, y que el gran agotamiento de la capa de ozono producido en esta región desde 1970 llegue a revertirse. Los cambios en la radiación UV alrededor de la Antártida serán paralelos a los cambios en el ozono. La radiación UV comenzará a recuperar los niveles que tenía antes del importante agotamiento de la capa de ozono. En otras partes del planeta, una posible sobre-recuperación del ozono (ver pág. 20) puede llevar a que la radiación UV se sitúe en niveles por debajo de los que existieron en el pasado [1, 8].

Sin embargo, es probable que estos cambios en la exposición a la radiación UV que se relacionan con el ozono sean relativamente pequeños en las latitudes bajas. Otros cambios en el medio ambiente podrían tener efectos más significativos sobre la exposición futura a la radiación UV, por ejemplo cambios en la nubosidad, que son previsibles como consecuencia del cambio climático mundial [1]. En las grandes ciudades, los cambios en la calidad del aire tienen un marcado efecto sobre la exposición a la radiación UV, pues los contaminantes atmosféricos tales como las partículas y el ozono troposférico, absorben

la radiación UV [1, 5]. En muchos países en vías de desarrollo se espera que mejore la calidad del aire en las zonas urbanas, y que por ende los niveles de estos contaminantes atmosféricos bajen, lo que aumentará sustancialmente el índice local UV con respecto a sus valores actuales [1, 5].

La estrecha relación entre la exposición a la radiación UV y los cánceres de piel exige una constante vigilancia a los cambios que ocurren en la radiación UV. El análisis de los efectos que han tenido los pequeños incrementos en la radiación UV que han ocurrido desde los 1970s aún en presencia del Protocolo de Montreal, indica que pueden producirse nuevos cánceres de piel, y que estos podrían alcanzar su nivel máximo entre 2040 y 2060 [12, 13]. Sin embargo, **es probable que lo que más influya sobre la incidencia futura de los cánceres de piel sea el comportamiento humano**. Aun cuando hay indicios de que las tasas de melanoma maligno podrían estar estabilizándose en algunos países, estos aún son la excepción y de hecho en algunos países el nivel de conciencia pública sobre los riesgos que conlleva la exposición excesiva al sol parece ser menor que hace algunos años [15].

Los programas eficaces de educación y salud pública como INTERSUN (ver la Tabla 4) seguirán siendo esenciales, pues sin ellos la prevención de los cánceres de piel lograda gracias al Protocolo de Montreal podría verse mermada, al no haber cambiado la actitud del público con respecto al sol.



“Sin ningún control, el agotamiento del ozono habría representado una importante amenaza para la vista en todo el mundo”

El agotamiento de la capa de ozono, la radiación UV y las enfermedades oculares

A fin de que podamos ver, la luz debe atravesar el ojo y llegar hasta las células fotosensibles en la retina. En el ser humano, los rayos UVB y UVA son absorbidos antes de llegar a la retina, y mientras que esto protege las células de la retina, las partes del ojo que absorben el UV pueden sufrir lesiones, y producirse enfermedades oculares.

A corto plazo, la exposición a una radiación UV intensa puede perjudicar las capas superficiales del ojo (córnea o conjuntiva:

Figura 8). Un ejemplo conocido es la fotoqueratitis o ceguera de la nieve. La reflectividad de la nieve, combinada con la intensa luz solar de la montaña, provocan una fuerte exposición a la radiación UV, que exige una protección ocular particularmente eficaz. Las fuentes artificiales de radiación ultravioleta intensa pueden producir daños similares. La radiación UVC producida por equipos de soldadura puede también causar fotoqueratitis.

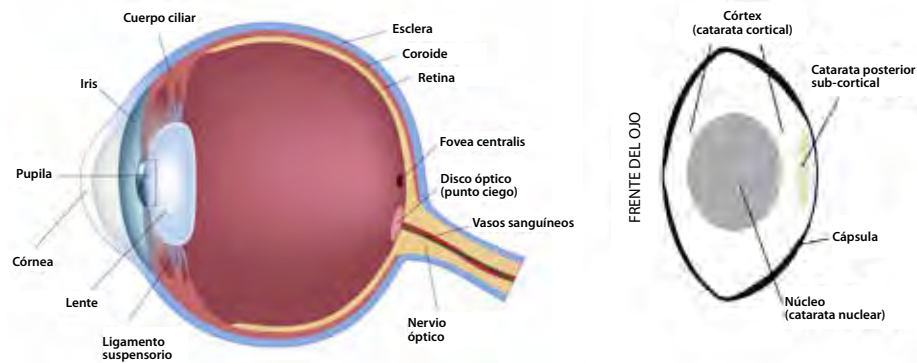


Figura 8. Estructura del ojo humano. El diagrama de la izquierda ilustra las estructuras principales del ojo en corte transversal. El diagrama de la derecha es una ilustración ampliada del cristalino, en la que se muestra la ubicación de los tres principales tipos de cataratas. La radiación UV parece ser especialmente relevante en la aparición de cataratas corticales.

A largo plazo, la exposición a la radiación UV se asocia a una serie de enfermedades oculares graves entre las que se incluyen los cánceres de ojo, comparables a los cánceres de piel asociados a la radiación UV, pero mucho menos comunes. El principal efecto a largo plazo de la radiación UV sobre los ojos probablemente sea el riesgo aumentado a desarrollar cataratas. Según cifras de la OMS, las cataratas causan el 51% de las cegueras del mundo; unos 16 millones de personas desarrollan cataratas cada año, con graves perjuicios para la vista.

La radiación UV y las cataratas

Las cataratas aparecen cuando el cristalino del ojo se enturbia (Figura 8). En la fase preliminar provocan visión borrosa y si no hay tratamiento, el cristalino seguirá cambiando y la pérdida de la visión se torna severa. Las cataratas se clasifican en función de la parte del cristalino que es afectada. La relación entre las cataratas y la exposición a la radiación UV es especialmente evidente en un tipo de catarata – el cortical. Los rayos UVB parecen tener mayor efecto que los UVA [7].

Al igual que sobre los cánceres de piel, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha publicado investigaciones en las que se estima el punto hasta el cual

la incidencia de cataratas habría variado si el Protocolo de Montreal no se hubiera implementado con éxito [14, 16]. En el informe publicado en 2015 [14] se concluye que hacia 2100, **sin un control eficaz para controlar el agotamiento de la capa de ozono, se habrían presentado entre 45 y 50 millones de casos nuevos de cataratas, solamente en los Estados Unidos.**

Tal como sucede con los modelos que se utilizan para pronosticar la incidencia de cáncer de piel, estos modelos sólo pueden hacer estimativos generales sobre la incidencia futura de cataratas en el “mundo evitado”. En el informe, los autores evalúan las incertidumbres incluidas en el modelo y destacan que éste se refiere a todos los tipos de cataratas conjuntamente, pese a que la radiación UV parece estar asociada solamente a un único tipo [16]. Incluso si los métodos utilizados por la EPA tienden a sobreestimar las cifras de Estados Unidos, es preciso equilibrar esos datos frente al importante papel de las cataratas como causa de ceguera en todo mundo. Aún no se ha publicado ningún modelo de “mundo evitado” sobre las cataratas, pero con base en las pruebas disponibles, resulta razonable imaginar que hacia el 2100, el Protocolo de Montreal probablemente haya evitado decenas de millones de casos de cataratas en todo el mundo.

El agotamiento del ozono, la radiación UV y el sistema inmunitario

Como cualquier otro organismo, los seres humanos son constantemente atacados por organismos que pueden causarles enfermedades. Una serie de mecanismos que en conjunto conforman nuestro sistema inmunitario, protege nuestro cuerpo de dichos ataques (ver la Tabla 6). Durante las últimas décadas ha quedado claro que la radiación UV puede afectar el sistema inmunitario humano, y que sus efectos son complejos. Los rayos UVB y UVA ejercen efectos independientes sobre la función inmunológica, pudiendo ocurrir interacciones entre ellos. Los diferentes componentes del sistema inmunitario también responden de maneras diferentes (ver la Tabla 6).

En estudios con animales, se ha demostrado que la exposición a la radiación UV aumenta la severidad de algunas enfermedades infecciosas. También hay evidencia de que una mayor exposición al sol puede incrementar las infecciones por herpes simple (úlceras bucales) en los seres humanos y tal vez reducir la eficacia de las vacunas [7].

Entre las enfermedades autoinmunes se cuentan trastornos tales como la diabetes de tipo 1, la esclerosis múltiple, la artritis reumatoide y las enfermedades inflamatorias intestinales. La frecuencia o severidad de algunas de estas enfermedades varía

alrededor del mundo especialmente con la latitud [7], lo que lleva a suponer que las enfermedades autoinmunes pueden estar influidas por la exposición a la radiación UV. La prueba más firme del efecto de la radiación UV sobre las enfermedades autoinmunes la encontramos en la esclerosis múltiple [7], donde se observa que su incidencia y severidad son menores en latitudes bajas, al menos en las poblaciones de piel clara. La evidencia experimental indica que la exposición a los rayos UV durante los primeros años de vida, e incluso durante el embarazo, puede tener efectos especialmente importantes sobre la probabilidad de sufrir esclerosis múltiple más adelante [7].

Al igual que sucede con otros efectos sobre la salud, el éxito del Protocolo de Montreal para frenar el agotamiento de la capa de ozono hace poco probable que los pequeños cambios en la radiación UV producidos desde la década de 1970, así como aquellos los previstos para el siglo XXI, tengan efectos medibles sobre la función inmunitaria de los seres humanos. Sin embargo, la respuesta del sistema inmunitario a una radiación UV que varía según el lugar en que se vive o según el comportamiento personal con respecto al Sol, siguen siendo relevantes para entender una serie de enfermedades.

El sistema inmunológico del hombre activa múltiples mecanismos para proteger al cuerpo del ataque de microorganismos y productos químicos. El sistema inmunológico innato es una respuesta inmediata y relativamente generalizada, que se basa en mecanismos como la inflamación, la producción de sustancias químicas de defensa (por ejemplo, los péptidos antimicrobianos) y algunos tipos de leucocitos (fagocitos). A diferencia, el sistema inmunológico adquirido es muy específico y de larga duración. La inmunidad adquirida involucra la producción de anticuerpos y una serie de leucocitos específicos para cada molécula foránea. La vacunación brinda una inmunidad adquirida de larga duración contra varias infecciones comunes.

La radiación ultravioleta puede afectar el sistema inmunológico al impactar múltiples moléculas (el informe del GEEA para 2015 enumera cinco [7]). A pesar de la complejidad subyacente, tal parece que la exposición a la radiación UV generalmente aumenta la actividad del sistema inmunológico innato, pero tiende a disminuir la actividad del sistema inmunológico adquirido.



El agotamiento del ozono, la radiación UV y la vitamina D

En las últimas décadas se ha re-examinado por completo la forma en la que la luz UV es capaz de afectar la salud, en vista del papel que desempeña en la producción de vitamina D en la piel [7].

Las deformidades óseas como el raquitismo han sido reconocidas por siglos y a medida que se fue dilucidando la función que ejercen las vitaminas sobre la salud humana, resultó evidente que la causa de esta afección es la carencia de vitamina D. Hacia la década de 1920, ya se sabía que la piel del ser humano puede sintetizar vitamina D si recibe luz solar. Hoy sabemos que el principal impulsor para la síntesis de vitamina D es el componente UVB de la luz solar.

Algunos alimentos como los pescados grasos son fuente natural de vitamina D, mientras que otros son enriquecidos con ella, pero para la mayoría de las personas la vitamina D es principalmente sintetizada en la piel. Por ende, si la piel no es capaz de sintetizar adecuadamente vitamina D lo más probable es que se produzca una carencia.

Radiación UV y deficiencia de vitamina D

La producción de vitamina D en la piel depende de la exposición a la luz del sol. En latitudes altas, el componente UVB de la luz solar invernal puede ser insuficiente para una síntesis adecuada de vitamina D [1]. Además, la ropa de invierno, que deja al descubierto muy poca piel y el escaso tiempo que se pasa al aire libre durante el invierno, reducen aún más la posibilidad de sintetizar vitamina D adecuadamente. Los pigmentos que protegen nuestra piel del daño que causa

la luz UV también pueden mermar la síntesis de vitamina D, por lo que las personas de piel oscura son más propensas a sufrir deficiencias de vitamina D que aquellas de tez más clara viviendo en la misma latitud [7].

Son muchos los estudios que demuestran que en latitudes altas, la concentración corporal de vitamina D se reduce durante el invierno. No está tan claro sin embargo, hasta dónde debe bajar el nivel de vitamina D para hablar de carencia, ni de qué forma esa deficiencia puede afectar la salud [7].

Deficiencia de vitamina D y enfermedades

Durante los últimos años se ha sugerido que la vitamina D desempeña una función en la salud humana que va más allá de prevenir las enfermedades óseas [7]. La carencia de vitamina D ha sido vinculada con un mayor riesgo de sufrir enfermedades como la tuberculosis, enfermedades autoinmunes como la esclerosis múltiple y varios cánceres internos (por ejemplo, cáncer de colon, de mama, de útero y de próstata) [7].

El efecto ampliado de la vitamina D en la salud humana es objeto de extensos debates [7], en parte porque que la evidencia sobre estos efectos con frecuencia se basa en grados variables de incidencia de enfermedad, en diferentes latitudes. Es fácil establecer una correlación entre esta variación y los cambios de intensidad en la radiación UV, sin embargo, los efectos de la radiación UV que son independientes de la vitamina D - por ejemplo sobre el sistema inmune - también podrían explicar esta variación geográfica en algunas enfermedades [7].

Hoy sabemos que, bien sea exclusivamente por medio de la vitamina D o mediante una serie de mecanismos, **un cierto grado de exposición a la radiación UV es beneficiosa para la salud**. Se plantea entonces una cuestión difícil para los individuos y para los responsables de la salud pública. ¿Cómo obtener la cantidad de radiación UV que necesitamos, sin excedernos? Y por otra parte, ¿modificarán los cambios futuros en la capa de ozono el equilibrio entre los efectos “buenos” y “malos” de la radiación ultravioleta?

Lamentablemente, no existe una norma firme y exacta sobre lo que constituye una “cantidad adecuada” de sol. La vulnerabilidad a los efectos de la radiación UV varía de una persona a otra, y lo mismo sucede con la cantidad de rayos UV necesarios para generar suficiente vitamina D. La latitud también influye de manera importante, ya que un mayor nivel de radiación UV en latitudes bajas reduce el riesgo de deficiencia de vitamina D, al tiempo que aumenta los riesgos de que se presenten efectos nocivos.

Cabe esperar que en las próximas décadas, a medida que la capa de ozono se regenera, la reducción en la radiación UV sea demasiado pequeña para afectar en forma significativa el tiempo necesario para que se presente una quemadura solar o para sintetizar una cantidad adecuada de vitamina D. Por ejemplo, un modelo reciente que considera estos dos aspectos de la radiación UV, señala que el tiempo necesario para que una persona de tez clara sufra quemaduras leves en la piel o produzca vitamina D, aumentará en apenas unos minutos entre ahora y el año 2100 (Figura 9). El tiempo necesario para que la piel produzca una cantidad suficiente de vitamina D sigue siendo menor que el que se requiere para sufrir quemaduras por el sol [17].

El mensaje sobre que el exceso de radiación UV supone riesgos para la salud a largo plazo, especialmente en conexión con el cáncer de piel, se mantiene vigente. Los programas como INTERSUN (Tabla 4) seguirán siendo importantes para la educación en la salud pública.

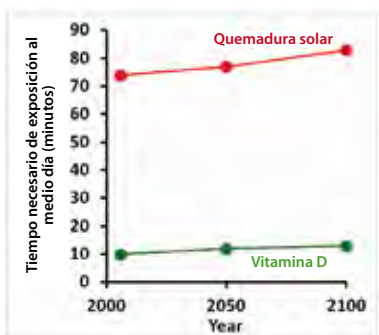


Figura 9. Cambios previstos en el lapso de tiempo necesario para que se presente una quemadura solar leve o para sintetizar vitamina D, frente a los cambios esperados en la radiación UV a lo largo del siglo XXI. Los tiempos de exposición corresponden a 52° de latitud Norte en primavera y a una persona de tez clara sensible a los efectos de la radiación UV (tipo de piel II). El tiempo necesario para sintetizar 1.000 unidades internacionales de vitamina D ha sido calculado suponiendo la exposición al sol de cara, brazos y manos. Modificado a partir de Correa *et al*, 1996 [17].



Otros efectos potenciales del agotamiento del ozono sobre la salud humana

La prevención de una gran cantidad de cánceres de piel y cataratas es un ejemplo de los beneficios que acarrea la protección de la capa de ozono para la salud humana. Podemos incluso comenzar a hacer estimaciones cuantitativas sobre la magnitud de esos beneficios, según se derivan de la exitosa implementación del Protocolo de Montreal.

Sin embargo, el Protocolo de Montreal ha traído otros beneficios adicionales en materia de salud. Algunas sustancias agotadoras del ozono, por ejemplo el bromuro de metilo, son tóxicas para los seres humanos. La sustitución de sustancias tóxicas que agotan el ozono, por otras tecnologías de menor toxicidad, ha reducido los riesgos para la salud de las personas que antes usaban dichas sustancias. Algunas sustancias agotadoras del ozono, especialmente los CFC, eran además potentes gases de efecto invernadero. Al sustituir los CFC con productos químicos que contribuyen en menor medida al efecto invernadero, el Protocolo de Montreal ha hecho una clara contribución a la protección del clima. Todo lo anterior a su vez reduce los riesgos para la salud relacionados con el aumento de temperatura y otros elementos del cambio climático.

Con referencia específica a la radiación UV, es claro que los efectos de su aumento en el “mundo que evitamos” no se habrían limitado a los seres humanos. El agotamiento incontrolado del ozono habría tenido efectos sobre otros organismos y ecosistemas además de muchos procesos ambientales, con graves repercusiones sobre la salud humana.

Nuestra comprensión de los efectos indirectos del agotamiento del ozono sobre la calidad del aire y el agua y la producción de alimentos, muestra que no habría grandes desfases temporales entre los cambios en la capa de ozono y la aparición de sus consecuencias. Este es un claro contraste con el lapso de años, cuando no decenios, que ocurre en el caso de los efectos directos sobre la salud como son los cánceres de piel. Los cambios indirectos posiblemente habrían sido los primeros en manifestarse en el “mundo evitado”, mucho antes que los cambios en los cánceres de piel o las cataratas. Estos cambios “indirectos” habrían afectado a todos los habitantes del planeta. Todos necesitamos una alimentación adecuada y nutritiva, y todos necesitamos agua potable y aire limpio.

Aún no es posible determinar con precisión la escala o los plazos de dichos efectos indirectos del agotamiento del ozono sobre la salud. A pesar de las incógnitas que existen sobre estos efectos indirectos, no cabe duda de que al haberlos evitado, bien vale la pena incluirlos en cualquier evaluación sobre los beneficios que ha tenido el Protocolo de Montreal para las personas y comunidades de todo el mundo.

Cambios que se deben a los efectos del agotamiento del ozono sobre el clima

La investigación sobre las repercusiones ambientales del agotamiento del ozono se ha centrado casi exclusivamente en su impacto sobre la radiación ultravioleta. En los últimos años ha quedado claro que el agotamiento del ozono también puede tener



importantes efectos sobre el clima [1, 3, 8] y que ello puede tener repercusiones indirectas para las personas. Incluso con la exitosa implementación del Protocolo de Montreal, el agujero en la capa de ozono sobre el Antártico provoca cambios en el clima de grandes extensiones del hemisferio Sur, incluidas la temperatura y la precipitación [3, 8].

Cambios en la calidad del agua

La radiación ultravioleta naturalmente contenida en la luz del sol puede matar los microorganismos patógenos presentes en los cuerpos de agua, reduciendo así la carga de las enfermedades transmitidas por vía acuática [2]. La radiación UV también puede acelerar la tasa de degradación de los

contaminantes orgánicos [4]. En el “mundo evitado”, estos efectos depuradores de la radiación UV habrían aumentado, pero aún así cualquier efecto positivo sobre la salud humana posiblemente habría sido mucho menor que los efectos negativos.

Cambios en la seguridad alimentaria

Muchos cultivos responden a las variaciones normales de radiación UV debidas a las estaciones y estos efectos rara vez son perjudiciales para su producción o calidad [3]. Por otra parte, hay clara evidencia de que cuando la radiación UV aumenta por encima de los niveles actuales - especialmente la UVB - el rendimiento y la calidad de los cultivos comienzan a verse afectados [3].

Actualmente no es posible cuantificar la relación entre el aumento de la radiación UVB y la producción de alimentos en el "mundo evitado", en parte porque cada cultivo responde de manera diferente y también porque pocos cultivos han sido estudiados en detalle. Adicionalmente, los estudios disponibles utilizan una variedad de tratamientos con UV en los estudios de campo. Por ejemplo, un análisis pionero sobre la respuesta de los cultivos a nivel de campo, considera cualquier pérdida de ozono superior al 20% como "un alto nivel de agotamiento del ozono" [18], lo cual puede ser un buen indicador en un mundo con un Protocolo de Montreal parcialmente exitoso, pero resulta ser un cálculo conservador si lo comparamos con las predicciones de agotamiento del ozono en el "mundo evitado", donde hablamos de pérdidas de ozono cercanas al 80%. El mismo análisis [18] destaca que un "mayor" agotamiento de ozono (casi siempre 20 - 30%) reduce la biomasa vegetal en un promedio cercano al 16%. Esta cifra incluye la mayoría de los principales cultivos alimentarios y da

una idea de la posible dimensión del impacto de un agotamiento incontrolado del ozono sobre la producción agrícola. Es evidente que algunas especies comerciales de peces pueden sufrir daños a causa de la radiación UV, bien como adultos o durante su fase de desarrollo [2]. La radiación UV también puede afectar al plancton que constituye la base de las cadenas alimentarias marinas, lo que en última instancia impactaría la productividad de la actividad pesquera [2]. Sin embargo, los retos que se enfrentan al realizar experimentos sobre radiación UV en sistemas acuáticos, especialmente marinos, hacen difícil estimar la dimensión de los efectos que el agotamiento incontrolado del ozono podría tener sobre la actividad pesquera.

En resumen, aún no podemos cuantificar los efectos indirectos del agotamiento de la capa de ozono sobre la salud humana, pero sí podemos afirmar que el agotamiento incontrolado del ozono habría contribuido a la inseguridad alimentaria mundial, con todos los efectos para la salud humana que esto conlleva.

Lo esencial: el valor económico de los beneficios para la salud que el Protocolo de Montreal representa

Se han efectuado distintos estimativos sobre el valor financiero del Protocolo de Montreal; la más reciente de ellas [19] sugiere que los beneficios para la salud representan alrededor del 80% del total de los beneficios económicos del Protocolo de Montreal, calculados en USD 1,8 billones en 2060 (Figura 10). Parte de estos beneficios se derivan de los costos ahorrados al no tener que brindar la atención médica asociada a un creciente número de casos no letales de cáncer de piel y cataratas, que cabría esperar en el “mundo evitado”. El número de vidas salvadas al evitar este gran aumento de los cánceres de piel, especialmente melanomas malignos, representa un beneficio económico mucho mayor, alrededor del 50% de los beneficios económicos totales del Protocolo de Montreal.

Cabe señalar que debido al lapso de tiempo que transcurre entre la exposición a la radiación UV y la aparición del cáncer de piel, estas estimaciones financieras no incluyen los efectos del colapso de la capa de ozono que se pronostican para mediados del siglo XXI en los modelos del “mundo evitado” (ver pág. 21).

En el “mundo evitado”, el colapso del ozono hacia 2050 habría provocado un enorme aumento de radiación UV durante la segunda mitad del siglo. Aún no han sido cuantificados los efectos sobre la salud mundial (véanse párrafos anteriores), sin embargo parece probable que los beneficios económicos del Protocolo de Montreal que se alcancen a finales de siglo, sean muy superiores a las ganancias financieras calculadas hasta 2060.

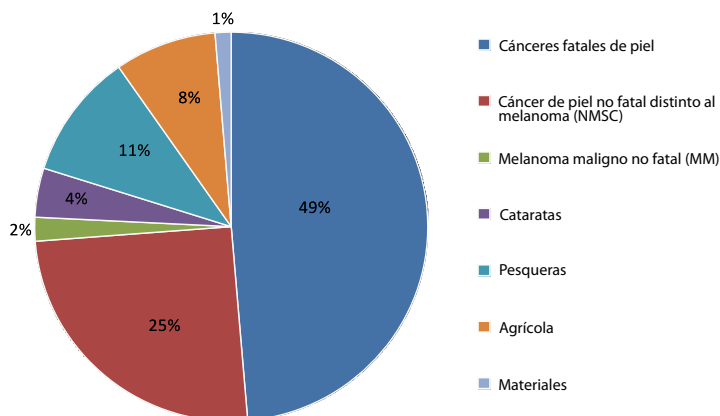


Figura 10. Estimativo de los beneficios financieros del Protocolo de Montreal hasta el año 2060. Las cifras son valores absolutos en miles de millones USD, con valores de 1997. Basado en Markandya & Dale (2012) [19]

Observaciones finales

Buena parte de este cuadernillo examina la manera en la que la salud humana podría haber sido afectada en un escenario futuro donde el Protocolo de Montreal no se hubiera implementado exitosamente. Los modelos del “mundo evitado” ofrecen la mejor perspectiva que tenemos de un mundo en el que afortunadamente, ni nosotros ni nuestros hijos y nietos tendremos que vivir. Junto con los grandes avances logrados en materia de entender los efectos biológicos de la radiación UV sobre la salud humana, estos modelos confirman ampliamente la amenaza para la salud humana reconocida por las Partes cuando firmaron el Protocolo de Montreal en 1987.

Nuestra comprensión sobre la vida en un “mundo evitado” seguirá ganando en claridad y profundidad. Los modelos sobre ozono y radiación UV en ese “mundo evitado” son cada vez más sólidos, y tal vez nos estemos acercando a un punto en el que podremos adoptar un enfoque “integral”, que contemple un mayor número de modelos para sustentar predicciones más sólidas.

Quizá así podamos contribuir a llenar los vacíos de conocimiento que actualmente nos impiden evaluar en conjunto la totalidad de los beneficios que la implementación del Protocolo de Montreal ha traído consigo. De momento por ejemplo, no podemos cuantificar de qué modo el agotamiento del ozono al cual se habría llegado al final de este siglo, habría afectado la salud en el “mundo evitado” después del 2100. Las limitaciones de los modelos actuales tampoco nos permiten cuantificar en detalle los efectos indirectos, tales como aquellos relativos a la producción de alimentos.

Aún así, la magnitud de los perjuicios para la salud, de no haberse protegido la capa de ozono, ha quedado clara. La salud y el bienestar de cientos de millones de personas, muchas de las cuales aún no han nacido, han sido protegidos mediante la acción concertada de las Partes desde 1987. ¿Puede haber mejor respuesta para quienes buscan razones para proteger la capa de ozono, o mejor motivo para celebrar los beneficios resultantes del éxito de esa protección?

La radiación UV que llega a la superficie terrestre se divide en forma práctica en rayos UVA y rayos UVB, dos partes del espectro ultravioleta que se definen en función de su longitud de onda, siendo la del UVB de 290 a 315 nm y la del UVA de 315 a 400 nm.

Se puede generalizar sobre los efectos de los rayos UVA y UVB, diciendo por ejemplo que “los rayos UVB son más perjudiciales que los UVA”, pero esto pocas veces basta para explicar claramente los efectos de la radiación UV sobre la salud humana. Cada destinatario susceptible del impacto de la radiación ultravioleta, sea una molécula como el ADN, o un proceso incluyendo la aparición de un cáncer, tiene un patrón específico de respuesta ante las diferentes longitudes de onda que componen el UV.

Con base en las respuestas características a las distintas longitudes de onda, podemos explicar las variaciones en las proporciones de las distintas longitudes de onda UV que componen la luz solar. Dichos cambios ocurren según la latitud y la estación del año, y también con el agotamiento del ozono.

En cuanto a la salud humana, la respuesta a la longitud de onda (quemadura por el sol) se usa de forma conveniente de agrupar una serie efectos. Los investigadores a menudo expresan la radiación UV en términos de su capacidad para causar quemaduras (técnicamente conocida como “radiación UV eritematógena”), que es la misma radiación UV que forma la base del índice UV. El índice UV traduce la radiación solar UV inductora de quemaduras, en una escala sencilla y normalizada que se puede usar en los pronósticos meteorológicos y otros tipos de información pública. Ofrece una “instantánea” que permite a las personas decidir con sensatez de qué manera se expondrán a los rayos del Sol.



Referencias y lecturas adicionales

1. Bais, A.F. y otros: Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation, ágs.. 1 a 47 in Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
2. Häder, D.P. y otros, 2015: Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors. ágs.. 121 a 147. In Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
3. Bornman, J.F. y otros, 2015: Solar ultraviolet radiation and ozone depletion driven climate change: Effects on terrestrial ecosystems. ágs.. 95 a 119 In Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
4. Erickson, D.J. y otros, 2015: Effects of stratospheric ozone depletion, solar UV radiation, and climate change on biogeochemical cycling: Interactions and feedbacks: ágs.. 149 a 177. En "Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment". Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
5. Madronich, S. y otros, 2015: Changes in air quality and tropospheric composition due to depletion of stratospheric ozone and interactions with changing climate: Implications for human and environmental health: ágs.. 179 a 206. En: "Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment". Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
6. Andradý A.L. y otros, 2015: Consequences of Stratospheric Ozone Depletion and Climate Change on the Use of Materials. Págs. 207 a 227. En: Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
7. Bais, A.F. y otros: Ozone depletion and climate change: impacts on UV radiation: ágs.. 1 a 47. En: Environmental effects of ozone depletion and its interactions with climate change: 2014 Assessment. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.
8. Assessment for DecisionMakers WMO Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 56. Scientific Assessment of Ozone Depletion, 2014. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.

9. Newman, P.A. y otros, 2009: What would have happened to the ozone layer if chlorofluorocarbons (CFCs) had not been regulated? *Atmospheric Chemistry and Physics*, 9: 2113-2128.
10. Egorova, T. y otros, 2013: Montreal Protocol Benefits simulated with CCM SOCOL. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13: 3811-3823.
11. van Dijk, A. y otros, 2013 Skin Cancer Risks Avoided by the Montreal Protocol Worldwide Modeling Integrating Coupled Climate Chemistry Models with a Risk Model for UV. *Photochemistry and Photobiology*, 89, ágs..234 a 246.
12. Slaper, H. y otros, (1996) Estimates of ozone depletion and skin ágs. incidence to examine the Vienna Convention achievements. *Nature*, 384: ágs.. 256 a 258.
13. Human Health Benefits of Stratospheric Ozone Protection. USA Environmental Protection Agency, Washington (2006)
14. Updating ozone calculations and emissions profiles for use in the atmospheric and health effects framework model. USA Environmental Protection Agency, Washington, 2015
15. Anónimo, 2012: Sunburn and Sun Protective Behaviors Among Adults Aged 18–29 Years — United States, 2000–2010. *Morbidity and Mortality Weekly Report (MMWR)* May 11, 2012. 61(18): 3173-322.
16. Protecting the ozone layer protects eyesight. A ágs.o v cataract incidence in the United States using the atmospheric and health effects framework model. USA Environmental Protection Agency (2010).
17. Correa, M.d.P. y otros, 2013: Projected changes in clearsky erythemal and vitamin D effective UV doses for ágs.o ver the period 2006 to 2100. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 12: ágs.. 1053 a 1064.
18. Searles, P.S., S.D. Flint y M.M. Caldwell, 2001: A meta analysis of plant field studies simulating stratospheric ozone depletion. *Oecologia*, 127: ágs.. 1 a 10.
19. Markandya, A. y N. Dale, 2012: The Montreal Protocol and the Green Economy. Assessing the contributions and cobenefits of a Multilateral Environmental Agreement. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.

El Programa Acción por el Ozono de la DTIE del PNUMA

En el marco del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, los países de todo el mundo toman medidas específicas, con plazos concretos, para reducir y eliminar la producción y el consumo de sustancias químicas fabricadas por el hombre que destruyen la capa de ozono estratosférico, el escudo que protege la salud humana y toda la vida en el planeta de los efectos perjudiciales de la radiación ultravioleta extrema.

El Protocolo de Montreal tiene por objeto eliminar las sustancias agotadoras del ozono (SAO), entre las que se incluyen los CFC, los halones, el bromuro de metilo, el tetracloruro de carbono, el metilcloroformo y los HCFC. Los gobiernos de 197 países se han sumado a este acuerdo ambiental multilateral y están adoptando medidas.

El Programa Acción por el Ozono de la DTIE del PNUMA ayuda a los países en vías de desarrollo y países con economías en transición (CEIT) a lograr un cumplimiento continuo con las provisiones del Protocolo de Montreal. La asistencia que presta nuestro programa permite a los países adoptar decisiones fundamentadas con respecto a tecnologías alternativas, políticas respetuosas con el ozono y actividades de cumplimiento.

La labor del Programa Acción por el Ozono se desarrolla en dos esferas principales:

- la asistencia a los países en desarrollo, en cumplimiento de la función del PNUMA como Agencia de Implementación del Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal, a través de un Programa de Asistencia para el Cumplimiento (PAC),
- asociaciones específicas con organismos bilaterales y gobiernos.

Las actividades que desarrolla el PNUMA en el marco del Protocolo de Montreal, contribuyen a lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio y a implementar el Plan Estratégico de Bali.

Mayor información

Dra. Shamila NairBedouelle, Jefa de la Subdivisión
del Programa Acción por el Ozono de la DTIE del PNUMA
15, rue de Milan, 75441, Paris CEDEX 09
Tel: +331 443 7 145 5, Fax: +331 443 7 147 4
Correo electrónico: shamila.nairbedouelle@unep.org
Sitio web: <http://www.unep.org/ozonaction/>

La División de Tecnología, Industria y Economía del PNUMA

La División de Tecnología, Industria y Economía (DTIE) del PNUMA ayuda a los gobiernos, las autoridades locales y otros entes implicados en la toma de decisiones relacionadas con el comercio y la industria, a desarrollar e implementar políticas y prácticas dirigidas hacia un desarrollo sostenible.

La División trabaja en la promoción de:

- > la producción y el consumo sostenibles,
- > el uso eficiente de energías renovables,
- > el manejo adecuado de químicos,
- > la integración de costos ambientales a las políticas de desarrollo.

La Oficina de la Dirección, con sede en París coordina estas actividades a través de:

- > **El Centro Internacional de Tecnología Ambiental** - IETC (Osaka), que implementa programas de manejo integrado de residuos, agua y desastres, con énfasis particular en Asia.
- > **Consumo y Producción Sostenible** (París), que promueve estrategias de consumo y producción sostenible, para contribuir al desarrollo humano a través de los mercados globales.
- > **Químicos** (Ginebra), que promueve el desarrollo sostenible catalizando las acciones globales y construyendo capacidad nacional para el manejo racional de los productos químicos y mejorar su seguridad a nivel mundial.
- > **Energía** (París), que promueve políticas de energía y transporte para un desarrollo sostenible y la inversión en energías renovables y eficiencia energética.
- > **Acción por el Ozono** (París), que apoya la eliminación de las sustancias agotadoras del ozono en los países en vías de desarrollo y países con economías en transición, para asegurar el cumplimiento con el Protocolo de Montreal.
- > **Economía y Comercio** (Ginebra), que ayuda a los países a integrar las consideraciones ambientales a las políticas económicas y comerciales y trabaja con el sector financiero para incorporar prácticas de desarrollo sostenible.

Las actividades del PNUMA DTIE se dirigen a crear conciencia, optimizar la transferencia de tecnología e información, promover la cooperación tecnológica y las asociaciones, e implementar convenciones y acuerdos internacionales.

Mayor información
en **www.unep.org**

www.unep.org

United Nations Environment Programme
P.O. Box 30552 Nairobi, Kenya
Tel.: ++254-(0)20-762 1234
Fax: ++254-(0)20-762 3927
E-mail: unepub@unep.org



PNUMA

Para mayor información contactar:
PNUMA DTIE
División Acción por el Ozono
15 rue de Milan, 75441 Paris CEDEX 09, France
Tel.: +331 4437 1450
Fax: +331 4437 1474
ozonaction@unep.org
www.unep.org/ozonaction
www.unep.org/hazardoussubstances

Esta publicación resume la forma en que la exitosa implementación del Protocolo de Montreal ha protegido la salud humana. También se describen los efectos que habría tenido el agotamiento del ozono al producirse un gran aumento en la radiación ultravioleta que llega a la Tierra, con base en nuestra comprensión actual de los mecanismos por los cuales la radiación UV impacta los procesos biológicos, la manera en que habría conducido a un dramático aumento en la incidencia de cánceres de piel y cataratas y cómo habría afectado la salud humana de otras maneras. También se presentan los últimos avances en la comprensión de un “mundo evitado”, es decir, un mundo al que habríamos llegado si no se hubiera implementado con éxito el Protocolo de Montreal.

