

EL OJO Y LA RADIACIÓN SOLAR ULTRAVIOLETA

**Nuevos conceptos sobre los peligros, costos
y prevención de morbilidad.**

INFORME DE UNA MESA REDONDA
18 de junio de 2011, Salt Lake City, UT,
ESTADOS UNIDOS

MODERADOR
Karl Citek, MS, OD, PhD

PONENTES
Bret Andre, MS
Jan Bergmanson, OD, PhD
James J. Butler, MS, PhD
B. Ralph Chou, MSc, OD
Minas T. Coroneo, MSc, MS, Md, FRACS
Eileen Crowley, Md, PhD
Dianne Godar, PhD
Gregory Good, OD, PhD
Stanley J. Pope, PhD
David Sliney, MS, PhD

PATROCINADOR
Essilor of America



MODERADOR



KARL CITEK, MS, OD, PhD, es profesor de Optometría de la Facultad de Optometría de la Universidad del Pacífico, en Forest Grove, Oregon. Ha llevado a cabo investigaciones sobre la reflectancia ultravioleta y las características de transmisión de las lentes para gafas.

PONENTES



BRET ANDRE, MS, es investigador en el Instituto de la Visión, Universidad del Pacífico, Forest Grove, Oregon (Estados Unidos).



JAN BERGMANSON, OD, PhD, es profesor de Optometría en la Facultad de Optometría de la Universidad de Houston, Houston, Texas (Estados Unidos). Su investigación ha incluido estudios sobre la histopatología del tejido ocular dañado por la radiación ultravioleta y los efectos del láser de excimeros en la córnea.



JAMES J. BUTLER, MS, PhD, es profesor de Física en la Universidad del Pacífico en Forest Grove, Oregon (Estados Unidos). Ha realizado exhaustivos trabajos de investigación sobre la limitación óptica de los láseres para la protección de los sensores.



B. RALPH CHOU, MSc, OD, es profesor adjunto en la Escuela de Optometría de la Universidad de Waterloo, en Waterloo, Ontario (Canadá). Entre sus intereses destacan el efecto de la radiación óptica en el ojo humano, y es presidente del Comité Técnico sobre Protección Ocular Industrial, Asociación Canadiense de Estándares.



MINAST T. CORONEO, MSc, MS, MD, FRACS, es profesor de Oftalmología en la Universidad de Nueva Gales del Sur y presidente del Departamento de Oftalmología del Grupo Hospitalario Príncipe de Gales y del Hospital Infantil de Sidney (Australia). Fue una pieza clave en el descubrimiento de los efectos de la focalización de la luz periférica en la córnea y es una autoridad en los efectos de la radiación solar en el segmento anterior del ojo humano.



EILEEN CROWLEY, MD, PhD, es dermatóloga en prácticas en el Centro Médico Kaiser Permanente Vallejo, Vallejo, California (Estados Unidos). Ha investigado el melanoma y la expresión genética en el carcinoma de células escamosas, un cáncer de piel que afecta a las personas mayores con una exposición intensa al sol.



DIANNE GODAR, PhD, es química en el Centro de Dispositivos y Salud Radiológica de la Agencia de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos. Entre sus temas de investigación destacan la bioquímica, inmunología, citometría de flujo, epidemiología de las exposiciones UV; y las respuestas de la vitamina D y el tejido mucoso a los rayos UV, incluidas las lesiones del ADN y las células apoptóticas.



GREGORY GOOD, OD, PhD, es profesor de Optometría clínica en la Facultad de Optometría de la Universidad Estatal de Ohio, Columbus, Ohio (Estados Unidos).



STANLEY J. POPE, PhD, es presidente de Sun Systems and Service, Oak Park, Michigan (Estados Unidos).



DAVID SLINEY, MS, PhD, es médico físico consultor en Fallston, Maryland (Estados Unidos). Cuando se jubiló en 2007, era director del Programa de Radiación Láser/Óptica, Centro de Promoción de la Salud y Medicina Preventiva del Ejército de Estados Unidos.

Exposición a los rayos UV y salud ocular: un riesgo grave al que prestamos poca atención

La idea de que la luz del sol puede ser dañina para los ojos no es nueva. Hace más de un siglo que se publican datos sobre los efectos perjudiciales de los rayos ultravioleta. La exposición a la luz del sol se ha relacionado en distintos grados con una variedad de patologías oculares en párpados, conjuntiva, córnea, cristalino, iris, vítreo y, posiblemente, retina. Estas afecciones oftálmicas han sido descritas colectivamente como "oftalmoheliosis", el equivalente en oftalmología de la dermatoheliosis.^{1,2}

La evidencia de una conexión causal entre la luz ultravioleta (UV) y la patología ocular oscila entre sólida y muy indicativa, dependiendo del estado de la enfermedad. En el caso del pterigión, una enfermedad ocular común con una mayor incidencia en lugares tropicales, altamente reflectantes y de gran altitud, la exposición solar es el único factor de riesgo probado científicamente, y el papel decisivo de los efectos dañinos de los rayos UV en la patogénesis del pterigión está bien establecido. Por otro lado, si bien existen indicios de que la exposición a los rayos UV puede influir en el desarrollo de la degeneración macular asociada a la edad (DMAE), este papel todavía no se ha demostrado de manera definitiva.

De todos modos, es evidente que la exposición a los rayos UV —en particular el efecto acumulado de la exposición a la luz del sol a largo plazo— es perjudicial para los ojos. Mientras que los dermatólogos han hecho un trabajo magnífico alertando a las personas sobre los peligros de exponer la piel a los rayos UV, la población en general —e incluso muchos profesionales de la visión— no están suficientemente informados sobre los peligros oculares de los rayos UV. El resultado ha sido un bajo nivel de interés y conocimiento sobre la protección solar para los ojos.

Esto puede deberse en parte a una falta de comunicación eficaz de lo que ya sabemos sobre los peligros de la exposición a los rayos UV para los ojos. Quizás más importante a largo plazo son las lagunas en nuestro conocimiento de la protección ocular y la ausencia de consenso en cuanto a los estándares para la protección ocular. Por ejemplo, no tenemos nada como el Factor de Protección Solar (SPF) que podría indicar a los usuarios de gafas con qué efectividad los protegerán sus nuevas gafas. Si sabemos que algunas lentes claras y la mayoría de gafas de sol bloquean los

rayos UV transmitidos por debajo de los 350 nanómetros (nm) e impiden que alcancen la retina, pero esto no nos dice cuánta radiación UV logra llegar al ojo sin pasar a través de las lentes. Por lo tanto, mientras que los compradores de crema solar saben la protección relativa que ofrece una preparación frente a otra, no hay ninguna escala similar para los compradores de gafas de sol.

Del mismo modo, mientras que el índice UV específica a los consumidores cuántos rayos UV están previstos para un día determinado, incluso esto resulta erróneo para medir la exposición ocular a los rayos UV, como veremos en este informe. Si bien la exposición excesiva a los rayos UV es claramente peligrosa, la situación es compleja, ya que la exposición moderada a la luz solar es importante, quizás incluso necesaria, para una buena salud. Al abordar el riesgo de los rayos UV debemos ser cuidadosos e inteligentes, buscando el equilibrio entre una exposición beneficiosa y la necesidad de proteger la piel y los ojos de la exposición excesiva.³

En un esfuerzo por sensibilizar sobre los riesgos graves de la exposición solar para los ojos y lo que puede hacerse al respecto, Essilor reunió a un grupo de expertos en junio de 2011, formado por once optometristas, oftalmólogos, dermatólogos, químicos y físicos, para debatir a fondo los peligros que plantean los rayos UV para el ojo y las maneras de proteger el ojo de los rayos UV. Nuestros objetivos eran los siguientes:

- Definir lo que se conoce y lo que no se conoce sobre los efectos dañinos de los rayos UV para el ojo
- Analizar los costes en términos de costos y morbilidad de las enfermedades oculares inducidas por los rayos UV
- Identificar los principales escollos de cara a una mayor adopción de una protección ocular eficaz

Los puntos culminantes de este amplio debate se recogen aquí. Un punto se impuso con gran claridad: sabemos que los rayos UV presentan un riesgo importante para el ojo, pero todavía no hemos encontrado la forma de comunicarlo con la claridad necesaria para que las personas, e incluso la mayoría de profesionales de la visión, actúen conforme a este conocimiento. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo es informar y, de ese modo, incitar a la acción para proteger los ojos de los verdaderos peligros de lesiones solares a corto y a largo plazo.

RAYOS UV Y SALUD HUMANA

- Aunque una pequeña cantidad de rayos UV procede de fuentes artificiales, la inmensa mayoría de los rayos UV a los que están expuestas las personas tienen su origen en el sol.
- Los rayos UV pueden tener efectos sobre la salud tanto en forma de lesión directa del ADN como de reacciones fotosensibilizantes que causan la producción de radicales libres y oxidación.
- La retina y otras estructuras oculares posteriores están protegidas de los rayos UV por la córnea y el cristalino, que juntos absorben casi todos los rayos UV que entran en el ojo. Sin embargo esto pone en peligro la estructura protectora.
- Aunque los rayos UV pueden ser perjudiciales, la exposición moderada a los rayos UV es necesaria para una buena salud.

Radiación UV: la naturaleza del peligro

La radiación UV consiste en rayos electromagnéticos con longitudes de onda que van desde los 100 nm hasta el extremo del espectro de luz visible (Figura 1). El espectro de rayos UV se ha subdividido en dos bandas según los efectos biológicos de las longitudes de onda: Los rayos UVA comprenden longitudes de onda de 380 a 315 nm, los rayos UVB de 315 a 280 nm y los rayos UVC de 280 a 100 nm.* (El espectro de luz visible va de los 380 a los 760 nm).

Los rayos UVA, que pueden penetrar más profundamente en la piel que los UVB, son los responsables del bronceado, de las arrugas y del envejecimiento de la piel. Más activos biológicamente que los rayos UVA, los UVB causan lesiones en los tejidos, como eritema y formación de ampollas, y tienen un papel fundamental en el desarrollo del cáncer de piel. Los rayos UVC también podrían causar cáncer de piel; además, los UVC pueden matar las bacterias, de ahí su uso como agente germicida.

Fuentes de rayos UV

La luz del sol natural es la principal fuente de radiación UV terrestre. En circunstancias normales, las longitudes de onda por debajo de 290 nm son absorbidas casi por completo por la capa de ozono de la estratosfera, de modo que los rayos UVC solares no son un problema en la superficie de la Tierra (aunque a veces los rayos UVC fabricados por el hombre en los procesos industriales son un peligro). Como la capa de ozono puede absorber más eficientemente las longitudes de onda cortas que las largas, los rayos UV que llegan a la superficie de la Tierra están formados en un 95 % por UVA y un 5 % por UVB.⁴

Los rayos UV también pueden proceder de fuentes artificiales, como aparatos de soldadura de arco eléctrico y algunas fuentes de luz nuevas, especializadas o poco comunes. Las lámparas que suelen

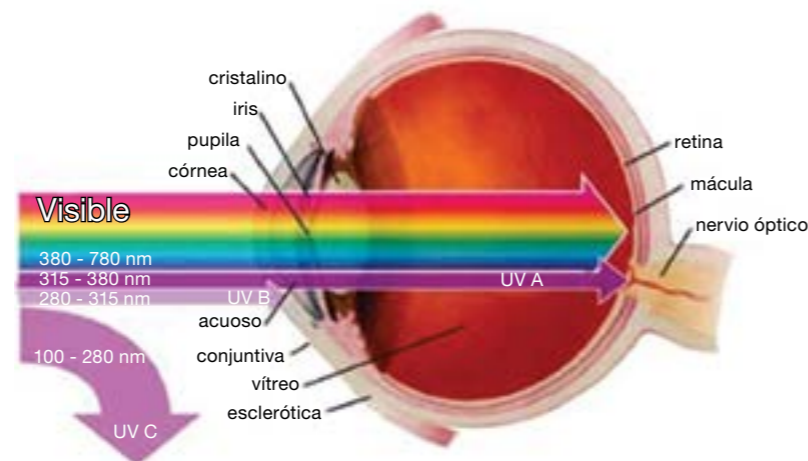


Figura 1: El espectro de luz visible e invisible.

* Los puntos de corte exactos para algunas bandas de UV son algo arbitrarios y varían ligeramente en los trabajos de los distintos grupos.

utilizarse en los salones de bronceado son una fuente habitual y potencialmente peligrosa de radiación UV. La tendencia actual en iluminación interior es sustituir las bombillas incandescentes convencionales por otras más eficientes, como las bombillas fluorescentes compactas, pero la producción de luz mediante bombillas fluorescentes se basa en la emisión de rayos UV. Para resolver este problema, una solución es un doble sobre de cristal que filtre eficazmente los rayos UV emitidos. Sin embargo, las bombillas fluorescentes compactas con un diseño de sobre único pueden aumentar el riesgo de exposición a los rayos UV, en particular cuando se utilizan cerca del cuerpo (p. ej. lámparas de mesa) durante periodos prolongados.

Mecanismos de lesión de los rayos UV

Los rayos UV pueden causar daños celulares directos e indirectos (Figura 2). El daño directo de los rayos UV que penetran en una célula se produce cuando las moléculas absorben la radiación. El ADN, que absorbe fácilmente los rayos UVB, puede sufrir lesiones de este modo. Cuando los fotones de UVB son absorbidos por una molécula de ADN, añaden energía y llevan la molécula de ADN a un estado de excitación, que a su vez puede desencadenar reacciones fotodinámicas que resulten en cambios estructurales en el ADN. Un cambio típico en la estructura es la formación de dímeros de timina, las lesiones más abundantes del ADN tras la exposición directa a los rayos UV.⁵ Se ha demostrado que la dimerización de la timina se produce casi al instante cuando se absorben los rayos UV.⁶

El daño que producen los rayos UV en el ADN se puede reparar a través de múltiples vías de reparación inherentes al organismo. Pero estos mecanismos de protección pueden verse desbordados por niveles elevados y repentinos de radiación o por la exposición crónica a los rayos UV de menor nivel. Las lesiones sin reparar provocan distorsión en la hélice de ADN y errores de transcripción que pueden transmitirse mediante replicación, lo que podría desembocar en última instancia en la mutagénesis o apoptosis celular.

La radiación UVA no causa daños directos en el ADN porque no es absorbida por la molécula de ADN. No obstante, su absorción por otras estructuras celulares puede desencadenar reacciones fotomecánicas que generan radicales libres que dañan básicamente todos los componentes celulares importantes, como las membranas, el ADN, las proteínas y enzimas esenciales. Los radicales libres también pueden provocar la despolimerización del ácido hialurónico y la degradación del colágeno, cambios patentes en el fotoenvejecimiento de la piel y la licuefacción vítrea del ojo envejecido.

Efectos beneficiosos y perjudiciales de los rayos UV

Hace tiempo que se sabe que las longitudes de onda óptimas para la síntesis de la vitamina D en la piel humana se encuentran en una banda estrecha que oscila de los 295 a los 315 nm.⁷ Los estudios han detectado tasas crecientes de deficiencia de vitamina D en todo el mundo, y algunos sugieren que puede deberse a la menor producción de vitamina D por la falta de exposición al sol, ya que las personas toman medidas para evitar enfermedades, como el cáncer de piel.^{8,9}

El equilibrio entre los efectos beneficiosos y perjudiciales de los rayos UV en la salud humana parece que es el único punto donde discrepan los especialistas en los efectos fisiológicos de los rayos UV. Por ejemplo, muchos dermatólogos se centran en el cáncer de piel y sugieren que, para elevar los niveles de vitamina D, se puede susti-

LAS LUCES PARA REPTILES: LO BUENO, LO MALO Y LO SORPRENDENTE

[La siguiente historia fue contada por el Dr. Jan Bergmanson en la mesa redonda*]

Los reptiles, especialmente los lagartos, obtienen parte de la energía que necesitan para su metabolismo y su reproducción de los rayos UV. En el desierto, el hábitat natural de estas criaturas, pueden conseguir los rayos UV adecuados exponiéndose al sol durante media hora. Pero los lagartos cautivos (mascotas), que no tienen acceso a esa media hora de luz solar del desierto, necesitan una luz artificial de rayos UV, normalmente una "luz para reptiles", que se puede adquirir en las tiendas de animales.

Un día, en verano de 2010, el Dr. Bergmanson tuvo que ir a comprar una luz para el lagarto de su hija. Movido por la curiosidad, compró no una, sino seis luces distintas para reptiles y se las llevó a su laboratorio, donde las examinó con su colega de investigación.

Lo que descubrieron fue toda una sorpresa: muchas de las luces emiten elevados niveles de rayos UVB —más UVB de los que se obtendrían en pleno día soleado de verano en Texas—. Incluso a 30 cm de las bombillas, la distancia de seguridad recomendada, los niveles de UVB eran muy altos. Algunas de las lámparas incluso emitían longitudes de onda tóxicas más cortas (UVC) que no se encuentran en la radiación solar ambiente.

El Dr. Bergmanson y sus colegas también observaron que en ninguna de las lámparas se alertaba sobre el peligro potencial de los rayos UV. Sí que incluían espectros de emisión en los envoltorios, pero las curvas de las etiquetas tenían poco que ver con lo que descubrieron en el laboratorio. Otro punto interesante es que algunas de las luces no emitían ningún rayo UV. Así que algunas lámparas de rayos UV podían ser perjudiciales para las personas, mientras que otras, si bien eran seguras para las personas, no eran buenas para los lagartos.

El resultado es que las fuentes artificiales de rayos UV pueden ser peligrosas y el etiquetado no es necesariamente una guía precisa sobre la exposición. Preguntando a los pacientes por sus hobbies, los médicos pueden identificar los riesgos potenciales de exposición a los rayos UV.

* Este trabajo sobre las luces para reptiles del Dr. Bergmanson y sus colegas fue presentado en la reunión de la Asociación para la Investigación en Visión y Oftalmología de 2011 en un cartel titulado "Luces para reptiles disponibles comercialmente — ¿Buenas para el animal, malas para el manipulador?"

SIGNIFICADO CLÍNICO Y SOCIAL DE LA EXPOSICIÓN A LOS RAYOS UV

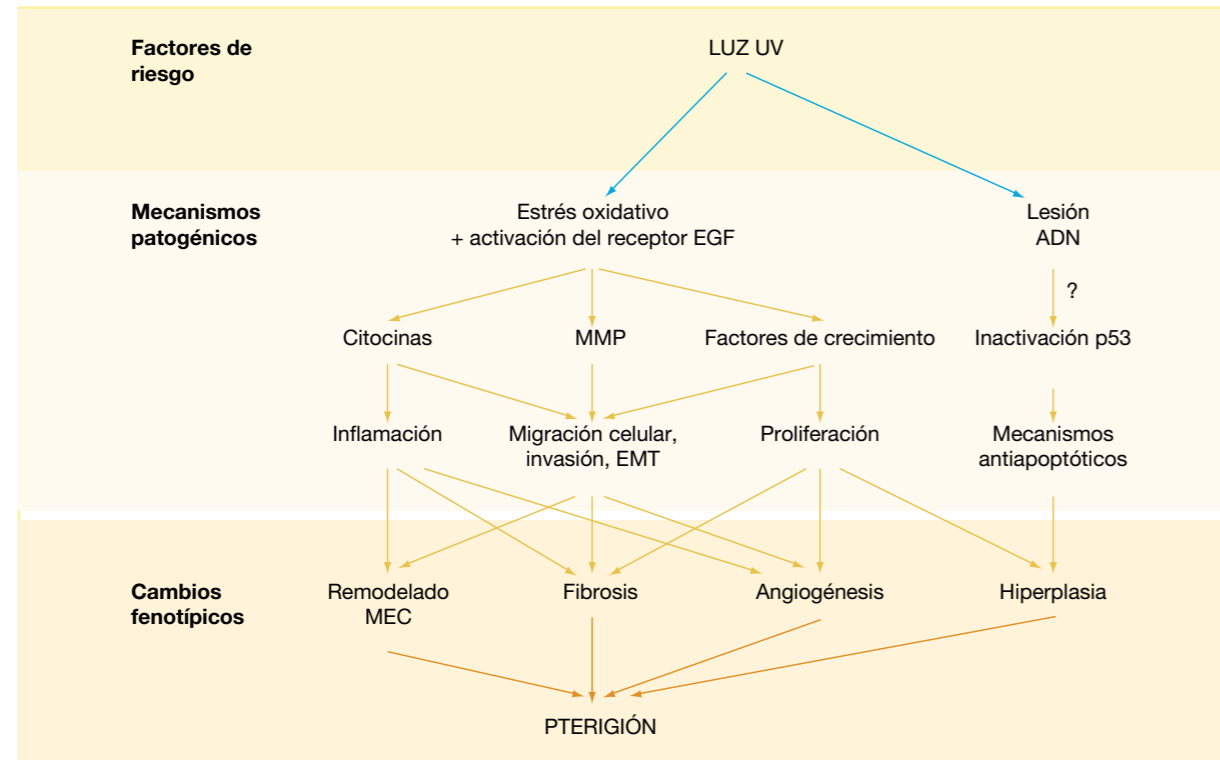


Figura 2: Múltiples procesos activados por los rayos UV contribuyen a la patogénesis del pterigión.

tuir la exposición al sol por suplementos de vitamina D; otros grupos ponen en duda que la vitamina D oral sea equivalente a la vitamina D que produce la acción del sol en la piel.

Absorción y transmisión de rayos UV en el ojo

El ojo está lleno de moléculas pigmentadas que absorben la luz (cromóforos), lo que hace que sea especialmente sensible a las reacciones fotoquímicas. La retina humana correría un grave peligro con los efectos dañinos de los rayos UV, pero por suerte solo el 1% o menos de la incidencia de los rayos UV en el ojo alcanza la retina.¹⁰ La inmensa mayoría de los rayos UV son filtrados por las estructuras oculares anteriores, en particular la córnea y el cristalino.

La absorción de los rayos UV por los tejidos oculares depende de la longitud de onda (Figura 3). La córnea absorbe la luz a longitudes de onda por debajo de los 295 nm, incluidos todos los rayos UVC y algunos UVB.¹¹ Inicialmente se pensó que la mayoría de esta absorción ocurría en el epitelio corneal, pero en realidad el estroma corneal absorbe una cantidad considerable de rayos UV y la membrana de Bowman también tiene una gran capacidad de absorción.^{12,13}

A diferencia de la córnea, cuyas características de absorción de los rayos UV se mantienen estables con el tiempo, el cristalino sufre cambios significativos en la capacidad de absorción de rayos UV a medida que envejece. En particular, el cristalino se vuelve más amarillo con la edad, lo que hace que absorba más longitudes de onda de UV. Así pues, mientras que los cristalinios más jóvenes pueden transmitir longitudes de onda de solo 300 nm, el cristalino adulto absorbe casi todas las longitudes de onda hasta 400 nm.^{14,15}

En los niños menores de 10 años, el cristalino transmite el 75% de los rayos UV; en los adultos de más de 25, la transmisión de rayos UV a través del cristalino disminuye hasta el 10%.^{16,17} Esto hace que sea especialmente importante proteger los ojos de los niños de los rayos UV.

Por lo tanto, la córnea y el cristalino funcionan juntos como un eficiente sistema de filtración de rayos UV, eliminando prácticamente todas las longitudes de onda de UVC y la gran mayoría de los rayos UVA y UVB. El "defecto" de este diseño natural es que pone las estructuras de protección, la córnea y el cristalino, en grave peligro por exposición acumulada a los rayos UV. No es de sorprender que las patologías oculares más comunes asociadas a la exposición solar (queratopatía climática en gotas, pinguécula, pterigión y catarata cortical) afecten al ojo anterior.

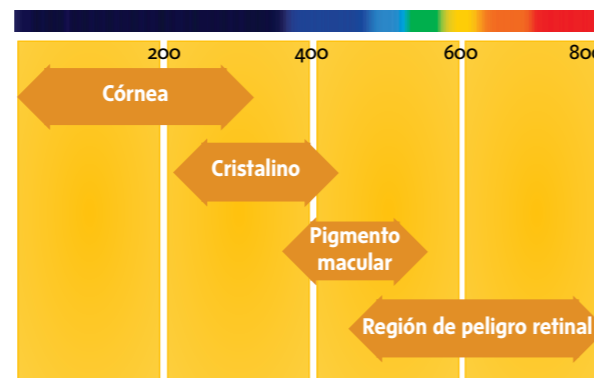


Figura 3: Absorción de los rayos UV por las distintas estructuras oculares.

LOS EFECTOS DAÑINOS DE LOS RAYOS UV SON ACUMULATIVOS

- El daño acumulado de los rayos UV está relacionado con enfermedades corneales y del segmento anterior.
- El pterigión, la queratopatía climática en gotas y la catarata cortical son enfermedades crónicas definitivamente ligadas a la exposición acumulada a los rayos UV.
- La degeneración macular asociada a la edad se ha vinculado a la exposición a los rayos UV, pero no se ha demostrado la conexión causal.
- La mayoría de casos de cáncer de piel están relacionados con la exposición solar.

Enfermedades crónicas

Debido a la dificultad que supone recopilar datos cuantitativos sobre la exposición a los rayos UV en grandes poblaciones durante periodos lo suficientemente largos para permitir una estimación de la dosis a lo largo de la vida, el establecimiento de la relación entre enfermedades oculares específicas y exposición a la luz del sol se ha tenido que basar en gran medida en estudios epidemiológicos.¹⁸ Estos estudios han relacionado los efectos dañinos de los rayos UV por la exposición crónica al sol con una serie de enfermedades oculares, incluida la queratopatía climática en gotas, la pinguécula, el pterigión, la catarata y posiblemente la DMAE (Tabla 1).

Las enfermedades oculares asociadas a los rayos UV tienen un gran impacto en las personas y la sociedad. Los problemas de visión a menudo causan pérdida de productividad y limitaciones sociales; el tratamiento de las enfermedades aumenta los costos sanitarios, que se suma a la carga económica por pérdida de productividad.

Pterigión El pterigión es más prevalente en zonas cercanas al ecuador y a altitudes elevadas, ya que en los dos lugares los niveles de exposición a los rayos UV son superiores. También tiene una incidencia elevada en lugares con una gran reflectividad del suelo.^{19,20}

En el sur de Estados Unidos, por ejemplo, se calcula que la incidencia del pterigión es superior al 10%; asimismo, afecta a un 15% de la población de la tercera edad en Australia y a más del 20% de los habitantes de las islas del Pacífico y de las poblaciones que se encuentran a gran altitud en el centro de México.²¹⁻²⁴

De no someterse a una operación, el pterigión puede invadir la córnea central y provocar ceguera en los casos más graves. Aunque una operación permitiría eliminar el tejido anormal y reconstruir la conjuntiva bulbar o el limbo afectados, la cirugía requiere tiempo, es costosa y puede asociarse a una tasa de recidiva relativamente alta.

Queratopatía climática en gotas La queratopatía climática en gotas es una afección en la que se acumula material translúcido en el estroma corneal en la banda entre los párpados. Las personas que pasan mucho tiempo en el exterior corren un riesgo particular de sufrir esta enfermedad, que provoca una discapacidad visual importante. Se cree que el material translúcido consiste en proteínas plasmáticas desnaturalizadas por la exposición a los rayos UV.²⁵

Catarata La catarata sigue siendo la principal causa de ceguera en el mundo. Aunque la cirugía puede evitar la pérdida de visión en casi todos los casos, muchos países no industrializados no disponen de los recursos necesarios para que la cirugía de catarata esté al alcance de grandes segmentos de la población y se estima que, en el mundo, 5 millones de personas al año se quedan ciegas por sufrir de cataratas.²⁶

FACTORES DE EXPOSICIÓN

FACTORES DE EXPOSICIÓN PARTICULARES Y NUEVAS PERCEPCIONES DE RIESGOS

- La intensidad de la exposición a los rayos UV ambientales va en función del ángulo solar, que varía según el momento del día, la época del año y la latitud. Los entornos físicos pueden aumentar los rayos UV ambientales a través de la reflexión; y cuando hay muchas nubes los rayos UV disminuyen
- Los rayos UV aumentan en altitudes más elevadas, donde hay menos atmósfera para absorber o reflejar los rayos UV entrantes
- Se espera que la exposición a los rayos UV y las enfermedades oculares asociadas aumenten en las próximas décadas debido a la destrucción de la capa de ozono
- Casi la mitad de los rayos UV que alcanzan el ojo proceden de la exposición a luz difusa o luz reflejada
- Más del 40 % de la dosis anual de rayos UV se recibe en condiciones en las que las personas no suelen llevar gafas de sol (Tabla 2)
- La focalización de la luz periférica aumenta el efecto nocivo de los rayos UV reflejados
- La mayor parte del año (y en la mayoría de lugares), la exposición de los ojos al sol se produce sobre todo a primeras horas de la mañana y a finales de la tarde, más que durante el mediodía solar
- Las gafas de sol convencionales no proporcionan protección contra la exposición lateral
- La reflexión de los rayos UV desde la superficie posterior de las gafas antirreflejos es un peligro descubierto recientemente

Fuentes de exposición

Múltiples factores determinan la intensidad de los rayos UV ambientales, que pueden variar radicalmente según el lugar y el momento del día o del año. La luz directa del sol supone solo una parte de los rayos UV ambientales, más del 50% de los cuales proceden en realidad de la dispersión de luz localizada y la reflexión y dispersión de las nubes.⁵⁷

En general, los adultos y niños se exponen a entre un 2 % y un 4 % del total de rayos UV anuales disponibles, mientras que los adultos que trabajan al aire libre se llevan el 10 %.⁵⁸ La dosis media anual de rayos UV se calcula en unos 20 000-30 000 J/m² para los americanos, 10 000-20 000 J/m² para los europeos, y 20 000-50 000 J/m² para los australianos, sin contar las vacaciones, que pueden añadir un 30 % o más a la dosis de UV.⁵⁸

Los rayos UV que alcanzan la superficie ocular se pueden medir mediante dosimetría de lentes de contacto como el ratio de exposición a los rayos UV ocular-ambiental, que oscila entre un 4 % y un 23 % en el mediodía solar.⁵⁹ A diferencia de la exposición de la piel o ambiental, la exposición del ojo a los rayos UV también viene determinada por los mecanismos de protección natural, que incluyen entrecerrar los ojos, oprimir la pupila y otros factores geométricos relacionados con la anatomía orbital. Estos factores únicos implican que el pico de exposición ocular a los rayos UV no coincide siempre con el pico de exposición de la piel. Hay muchos conceptos erróneos que circulan sobre la exposición ocular a los rayos UV.⁶⁰ Entender los factores que determinan la exposición ocular es complicado pero resulta imprescindible para evaluar de forma precisa los riesgos de los rayos UV para los ojos y para determinar las estrategias de defensa específicas contra ellos.

TABLA 2

Condición	Exposición al sol (lx)	Porcentaje anual de exposición a los rayos UV
Interior	500	8 %
Cielo nublado	5 000	5 %
Cielo despejado	25 000	30 %
Cielo soleado	100 000	58 %
Total		100 %

*Cálculo basado en trabajadores urbanos del hemisferio norte.

TABLA 1

Afecciones oftálmicas en las que los rayos UV se han relacionado con la patogénesis

PÁRPADO

Arrugas; quemaduras del sol, reacciones fotosensibles, tumores malignos — carcinoma de células basales, carcinoma de células escamosas—

SUPERFICIE OCULAR

Pinguécula, pterigión, queratopatía climática (queratopatía de Labrador), queratitis (ceguera por destello, ceguera de la nieve), displasia y tumores malignos en la córnea o conjuntiva

CRISTALINO

Catarata cortical

ÚVEA

Melanoma, miosis, dispersión pigmentaria, uveítis, incapacidad de la barrera hematoocular

VÍTREO

Licuefacción

RETINA

Degeneración macular asociada a la edad

En las naciones industrializadas, donde la extirpación del cristalino y la sustitución por una lente intraocular es un procedimiento sencillo, efectivo y casi universal, el coste de la cirugía tiene un importante impacto económico. Solo en Estados Unidos, se practican cada año más de 3 millones de cirugías de cataratas, con un coste de al menos 6800 millones de dólares para los estadounidenses mayores de 40 años.^{27,28}

Si bien se necesitan más estudios para determinar claramente el papel de los rayos UV en la formación de la catarata nuclear y subcapsular posterior, los rayos UV se han establecido como un importante factor de riesgo para la catarata cortical.^{29,33} Como la córnea enfoca y concentra la luz en el limbo nasal y la corteza del cristalino nasal, se podría esperar que estos sitios fueran más propensos a los efectos dañinos de los rayos UV que otros sectores del ojo.^{1,34} Los estudios epidemiológicos de la localización de la catarata cortical han observado sistemáticamente que la catarata cortical temprana suele producirse en el cuadrante nasal inferior del cristalino, exactamente lo que se podría prever si los rayos UV influyeran en el desarrollo de la catarata cortical.^{35,37}

DMAE Aunque se han realizado muchos estudios al respecto, aún no se ha definido el papel de los rayos UV en el desarrollo de la DMAE. Los estudios epidemiológicos presentan algunas pruebas que sugieren la relación entre la exposición solar y la DMAE, sin que se pueda establecer una asociación clara.^{38,44} Esto no debería ser una sorpresa: a diferencia de la córnea y, en menor medida, del cristalino, que reciben mucha radiación UV (en parte debido a la focalización de la luz periférica [PLF]), la cantidad de rayos UV solares que llega a la retina es pequeña, solo el 1 % o menos de los rayos UV que afectan a la córnea.

Además, la DMAE es una enfermedad multifactorial: la predisposición genética, la edad, el tabaco, la dieta y la toxicidad de la luz son todos factores de riesgo. Los futuros estudios sobre la relación entre los rayos UV y la DMAE determinarán cuál es su importancia entre todos los factores que generan la DMAE. Uno de los retos de este proceso será obtener una medición precisa de la dosis de rayos UV retinal, que puede variar según el tamaño de la pupila y a mayor edad, ya que el espectro de absorción del cristalino cambia.

Exposición a los rayos UV y cáncer de piel

Uno de los efectos principales de la exposición excesiva al sol es el desarrollo del cáncer de piel. Aunque los rayos UVA penetran más profundamente en la dermis y las capas subcutáneas, no son absorbidos por el ADN y por lo tanto anteriormente se consideraban menos perjudiciales que los UVB como riesgo para la piel. Pero ahora sabemos que, aunque los rayos UVA son menos eficientes en provocar daños directos en el ADN, pueden contribuir al desarrollo de cáncer de piel a través de reacciones fotosensibilizantes que producen radicales libres que, a su vez, causan lesiones en el ADN.⁴⁵

En los últimos 31 años, se han producido más casos de cáncer de piel que de todos los demás cánceres combinados.⁴⁶ El melanoma, aun siendo menos común que otros cánceres de piel, es mortal y supone la mayoría de fallecimientos por cáncer de piel. Se estima que cerca del 64% de los melanomas y el 90% de los cánceres de piel no melanomas (carcinomas de células basales y de células escamosas) se deben a la exposición excesiva a los rayos UV.^{47,48} La gran mayoría de las más de 33.000 mutaciones genéticas identificadas en el genoma del melanoma están provocadas por la exposición a los rayos UV, lo que establece un vínculo sólido entre la exposición a los rayos UV y el desarrollo de este tipo de cáncer de piel.⁴⁸

En Estados Unidos, los cánceres de piel no melanomas aumentaron a un ritmo del 4,2 % anual entre 1992 y 2006.⁴⁹ Igualmente alarmante es que la incidencia del melanoma también aumentó en un 45 %, o un 3 % al año, entre 1992 y 2004, un ritmo más rápido que cualquier otro cáncer común.⁵⁰ El cáncer de piel representa una carga económica importante para la sociedad —los costes directos del tratamiento de los cánceres de piel no melanomas alcanzó los 1 500 millones de dólares en 2004—.⁵¹ El tratamiento del melanoma en adultos de 65 años o más cuesta unos 249 millones de dólares al año.⁵² Se espera que estas cifras aumenten paralelamente al aumento de la incidencia del cáncer de piel.

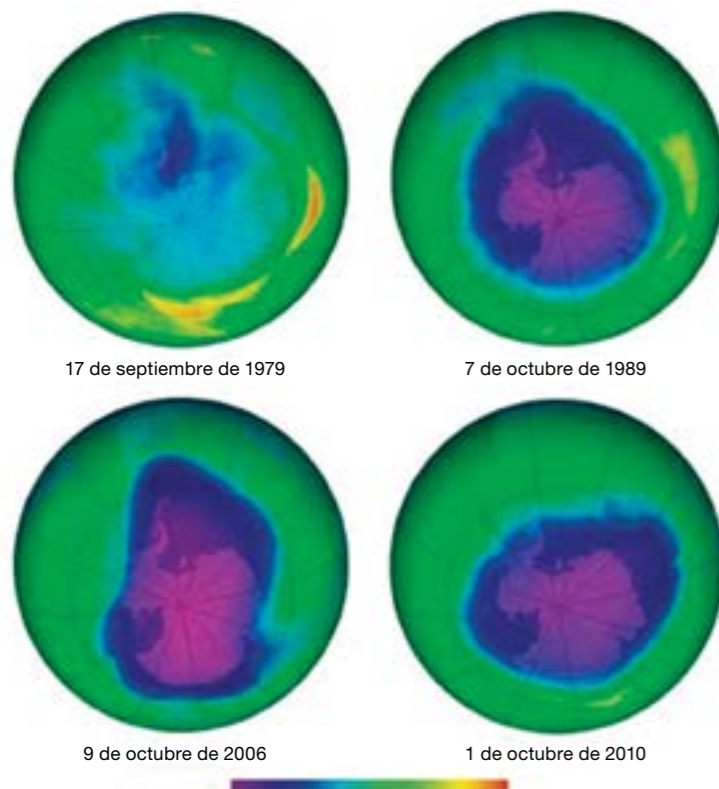
Tanto el melanoma como los cánceres de piel no melanomas afectan a los párpados, que es el lugar donde se producen aproximadamente el 5% y el 10 % de los cánceres de piel no melanomas.⁵³ Se ha observado clínicamente que los cánceres de párpado tienen cuatro veces más posibilidades de producirse en los párpados inferiores que en los superiores, quizás porque el borde orbital superior protege mejor el párpado superior que el inferior.⁵⁴ Además del cáncer de párpado, la exposición a los rayos UV también se ha asociado al aumento del riesgo de melanoma uveal.^{55,56}

ÍNDICE UV

El Índice UV, que va del 0 hasta el 15 aproximadamente, es una escala lineal desarrollada para describir la intensidad de los rayos UV en la superficie de la Tierra. El Índice se calcula siguiendo un método estándar internacional que tiene en cuenta la fecha, la latitud y altitud del lugar, y las condiciones previstas de ozono, nubosidad, aerosoles y reflexión del suelo. Cuanto más elevado es el valor, más intensos son los rayos UV ambientales y más probabilidades hay de que sean nocivos para la piel expuesta al sol.

Está destinado a las personas que tienen que tomar decisiones como el tiempo que pueden estar al aire libre en un día determinado o si tienen que ponerse protección solar o no. El Índice se ha generalizado, incorporándose en las previsiones meteorológicas para pronosticar el nivel máximo de rayos UV en el mediodía solar.

Una laguna muy importante del Índice UV es que solamente predice el grado de peligro de los rayos UV para la piel. El Índice no tiene relación con el riesgo de lesión ocular de los rayos UV, debido en gran medida a la geometría de exposición del ojo.



Factores críticos al determinar la intensidad atmosférica de los rayos UV

Capa de ozono La capa de ozono absorbe prácticamente todos los rayos solares UVC y hasta el 90 % de los UVB, actuando de escudo de la luz UV.⁴ En las últimas tres décadas, sin embargo, la actividad humana ha reducido la concentración de ozono atmosférico. Entre 2002 y 2005, el ozono en las latitudes medias era un 3 % inferior en comparación con los niveles de 1980 en el hemisferio norte y un 6 % en el hemisferio sur.⁶¹

Esta reducción de la capa de ozono va a aumentar la exposición humana a los rayos UV. Se estima que por cada 1 % de reducción en la capa de ozono, habrá una penetración de entre el 0,2 % y el 2 % más de rayos UV.⁶² Una proporción más grande de esta mayor radiación serán longitudes de onda más cortas, que son absorbidas por la capa de ozono.

Ángulo solar El ángulo solar es el factor más determinante de la intensidad de los rayos UV ambientales.⁶³ La intensidad de la luz del sol alcanza su máximo cuando el sol llega a su cenit, porque la luz perpendicular se proyecta en una superficie más pequeña que la luz oblicua, de modo que la energía lumínica por unidad de área está más concentrada cuando el tamaño del punto es más pequeño. Además, cuando el sol está más alto en el cielo, la luz solar recorre menos distancia a través de la atmósfera para llegar a la superficie, de manera que está menos difusa y atenuada.

FIGURA 4: El agujero de ozono antártico en el día de su reducción máxima (la capa de ozono más fina, medida en unidades dobson [du]) en cuatro años distintos.*

Superior izquierda: el 17 de septiembre de 1979, el primer año en que se midió el ozono por satélite, el nivel de ozono era de 194 DU.

Superior derecha: el ozono bajó hasta las 108 DU el 7 de octubre de 1989. Ese año entró en vigor el Protocolo de Montreal.

Inferior izquierda: el ozono medía 82 DU el 9 de octubre de 2006.

Inferior derecha: la medición se recuperó hasta las 118 DU el 1 de octubre de 2010.

*Las mediciones del ozono las llevaron a cabo los instrumentos del Espectrómetro de Mapeo del Ozono Total (TOMS) de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA) de 1979 a 2003 y el Instrumento de Control del Ozono (OMI) del Real Instituto Meteorológico de los Países Bajos (KNMI) de 2004 hasta ahora. Las zonas púrpura y azul oscuro son parte del agujero de ozono.

Por este motivo, el nivel de superficie de los rayos UV varía según el momento del día y del año, y también según la latitud: todos los factores que afectan al ángulo solar. Si todos los demás factores son iguales, la intensidad de los rayos UV es mayor cuando el ángulo solar está más cerca de la perpendicular. (Esto explicaría por qué el pterigión es más común en las regiones ecuatoriales y en los entornos muy reflectantes.⁶⁴)

Nubosidad Las nubes son complejas y cambian constantemente, lo que influye considerablemente en la variabilidad de los rayos UV ambientales. Si bien una capa espesa de nubes reduce en buena medida la cantidad de rayos UVA y UVB que llega a la superficie de la tierra, las nubes finas y dispersas tienen un efecto mucho menor. Además, los cúmulos pueden aumentar la radiación UVB entre un 25 % y un 30 % debido a la reflexión de sus extremos.⁶⁵

Reflexión de la superficie (albedo) La reflexión del suelo y las superficies circundantes, conocida como albedo, puede incrementar considerablemente los niveles de rayos UV ambientales, en particular el nivel medido en el ojo que, como se ha observado, está protegido de los rayos UV que vienen de arriba. Debido a la reflexión, se puede estar expuesto a los rayos UV estando en zonas totalmente a la sombra.⁶⁶ Las sustancias muy reflectantes, como la nieve acabada de caer, devuelven a la atmósfera hasta el 90 % de los rayos entrantes (Tabla 3A&B).^{67,68} La arena puede reflejar entre el 8 % y el 18 % de los rayos UV incidentes, el agua del 3 % al 13 %, y la hierba del 2 % al 5 %.⁶⁷

Altitud Como los rayos UV atraviesan menos atmósfera para alcanzar las costas más altas, tienen menos posibilidades de ser absorbidos por los aerosoles atmosféricos que, como el ozono, pueden absorber y atenuar los rayos UV.⁶⁹ Como resultado de ello, las poblaciones situadas en altitudes más elevadas por lo general están expuestas a mayores niveles de radiación UV. En Estados Unidos, los rayos UV se reducen entre un 3,5 % y un 4 % por cada 300 m que se bajan.⁷⁰⁻⁷²

Exposición ocular a los rayos UV

Geometría de la exposición Como nuestros ojos están encajados al fondo de la estructura del hueso orbital, la luz del sol que entra en el ojo paralela al eje visual tiene el camino más libre. Cuando el sol está directamente encima, cerca de su cenit, llegan pocos rayos UV directos a la superficie corneal debido al escudo natural que forman la ceja y los párpados superiores.⁶⁰ Por eso, aunque los rayos UV ambientales normalmente alcanzan su máxima intensidad en el mediodía solar (momento en que la exposición de la piel está en su punto álgido), el nivel de rayos UV que entran en el ojo puede ser inferior al de otros momentos del día, antes o después.

Contribución de la luz difusa y reflejada La radiación de longitudes de onda cortas (UVB) es dispersada por las partículas de aire y altamente reflejada por algunas superficies (Tabla 3A). Esta radiación indirecta fruto de la dispersión y reflexión de la luz representa casi la mitad de los rayos UV que recibimos, por lo que hay que tenerla en cuenta al considerar la protección contra los rayos UV.⁷³

Cuando la altitud solar alcanza los 40 grados, la exposición del ojo a los rayos UV directos disminuye rápidamente, probablemente

TABLA 3A

Factores de reflectancia del terreno representativos para superficies horizontales medidos con un radiómetro UV y luz solar del mediodía (290-315 nm)

Material	Porcentaje de reflectancia
Hierba, verano, Maryland (MD), California (CA) y Utah (UT)	2,0-3,7
Hierba, invierno, MD	3,0-5,0
Praderas, Vail Mountain, Colorado (CO)	0,8-1,6
Hierba, Vail, CO	1,0-1,6
Jardín de flores, pensamientos	1,6
Tierra, arcilla/humus	4,0-6,0
Acera, hormigón ligero	10-12
Acera, hormigón viejo	7,0-8,2
Carretera asfaltada, recién colocada (negra)	4,1-5,0
Carretera asfaltada, dos años de antigüedad (gris)	5,0-8,9
Pintura de casa, blanca, óxido metálico	22
Cubierta de barco, madera desgastada	6,4
Aluminio, mate, desgastado	13
Cubierta de barco, madera, revestimiento de uretano	6,6
Cubierta de barco, fibra de vidrio blanca	9,1
Lona de barco, desgastada, plastificada	6,1
Chesapeake Bay, aguas abiertas	3,3
Chesapeake Bay, componente especular de reflexión a Z = 45°	13
Océano Atlántico, costa NJ	8,0
Olas del mar, espuma blanca	25-30
Arena de playa del Atlántico, húmeda, escasamente sumergida	7,1
Arena de playa del Atlántico, seca, clara	15-18
Nieve, recién caída (2 días)	88

TABLA 3B

Superficie	Albedo UVA, %	Albedo UVB, %	Porcentaje de albedo UVA, %	Porcentaje de albedo UVB, %
Arena	13	9	59	41
Hierba	2	2	50	50
Agua	7	5	58	42
Nieve	94	88	52	48

INVESTIGACIONES RECIENTES IDENTIFICAN MOMENTOS DISTINTOS PARA LA MÁXIMA EXPOSICIÓN DEL OJO A LOS RAYOS UV

En sus estudios recientes, Sasaki y colegas demuestran claramente la relación entre el ángulo solar y la exposición ocular a los rayos UV.⁷⁴ Utilizando un maniquí especialmente diseñado, equipado con sensores de rayos UV, el grupo midió la exposición ocular a los rayos UV como función del momento del día en septiembre y noviembre en Kanazawa, Japón.

Sorprendentemente, descubrieron que el nivel de rayos UV que entra en el ojo a principios de la mañana (8:00 a 10:00) y a principios de la tarde (14:00 a 16:00) es casi el doble que el de las horas del mediodía (10:00 a 14:00) en la mayoría de épocas del año (Figura 5). Al medirlo con un sensor en la parte superior del cráneo, la exposición a los rayos UV aumentaba y disminuía con la altitud solar. Sin embargo, un sensor colocado en el ojo encontró la máxima intensidad de exposición antes y después del mediodía solar. Esto sugiere que la máxima exposición ocular a los rayos UV no se produce durante el mediodía solar, como se suele creer, y deberíamos replantearnos nuestras estrategias sobre cuándo es más importante proteger los ojos de la luz del sol.

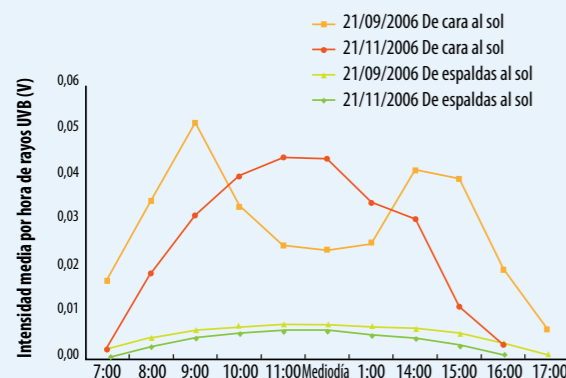


Figura 5: Cambio en la intensidad de UV en el ojo a medida que transcurre el día.

porque los párpados superiores y el reborde de la ceja protegen el ojo de la luz procedente de arriba.⁷⁴ Cuando los ángulos de la luz solar son más altos, el ojo queda expuesto a la radiación dispersa y reflejada —contrariamente a la creencia popular de que la luz directa del sol del mediodía supone un peligro por la exposición máxima a los rayos UV.

Focalización de la luz periférica (efecto Coroneo) La configuración del ojo y la cara humanos permiten un amplio campo de visión temporal, lo que hace que mucha de la luz que alcanza la córnea venga de los lados. El trabajo pionero de Coroneo y sus colegas estableció que esta radiación del lateral representa un riesgo especialmente importante, debido a la manera en que el mecanismo de focalización de la luz periférica se centra en el limbo nasal.

En la focalización de la luz periférica, la luz oblicua (incluidos los rayos UV) es reflejada por la córnea periférica, haciendo que viaje a través de la cámara anterior y se centre en el limbo nasal, donde residen las células madre corneales (Figura 6A).^{1,34,75} El efecto máximo de focalización de la luz periférica en el limbo se produce cuando el ángulo de incidencia es de 104 grados desde el eje visual.⁷⁶ Mientras que las células madre limbales suelen estar protegidas de la exposición directa a los rayos UV, la focalización de la luz periférica concentra la luz en el limbo nasal multiplicada por veinte.¹

Algunas pruebas epidemiológicas concluyentes y los resultados de los laboratorios han demostrado que esta luz periférica desempeña un papel esencial en el desarrollo del pterigión.⁷⁷ La prevalencia del pterigión aumenta entre un 2,5 % y un 14 % por cada 1 % de incremento de la exposición a los rayos UV.²² Hace casi 20 años, Coroneo sugirió que el pterigión podía ser un indicador de la exposición a los rayos UV.³⁴

Hoy en día sabemos que, además del limbo nasal, la focalización de la luz periférica también afecta al ecuador del cristalino nasal y al borde del párpado (Figura 6B) que, como el limbo, son zonas de poblaciones de células madre. El daño de las células madre como resultado de la luz periférica focalizada en estos sectores podría ser responsable de la aparición de la catarata cortical temprana y los tumores de piel malignos en el borde del párpado.^{78,79}

Gafas y reflexión de la superficie posterior Se ha descubierto que la superficie posterior de las gafas claras refleja la luz procedente de atrás hacia el ojo, aumentando la exposición ocular a los rayos UV.⁸⁰⁻⁸² Sorprendentemente, los revestimientos antirreflejos destinados a mejorar el rendimiento óptico de las gafas, al aumentar la transmisión de luz y eliminar la reflexión y el destello, provocan un incremento considerable de la reflectancia UV de la superficie posterior de las gafas (Figura 7).⁸²

Las mediciones de la reflectancia han demostrado que, mientras que las gafas claras sin tratamiento antirreflejos reflejan alrededor del 4 % al 6 % de los rayos UVA y UVB (y menos del 8 % de los UVC), las lentes antirreflejos reflejan un nivel de luz ultravioleta inesperadamente alto un promedio del 25 % para la mayoría de longitudes de onda UV y cerca del 90 % en algunas longitudes de onda.⁸² Estos rayos UV reflejados pueden llegar a alcanzar el limbo temporal o la córnea central; sin embargo, se puede evitar con un diseño de alto involucramiento que proteja contra la exposición de la superficie posterior, o con un revestimiento antirreflejos optimizado con poca reflexión de los rayos UV.⁸²

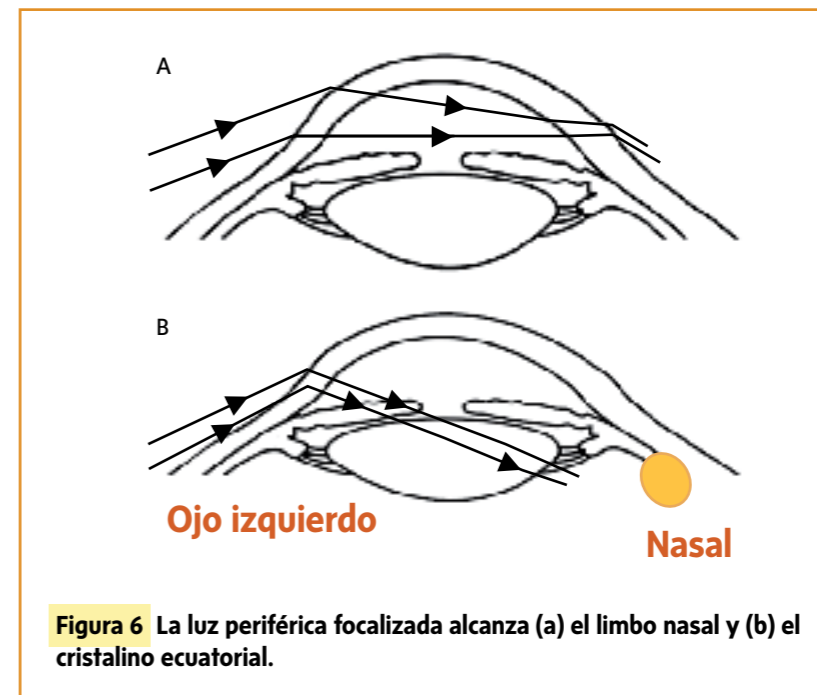


Figura 6 La luz periférica focalizada alcanza (a) el limbo nasal y (b) el cristalino ecuatorial.

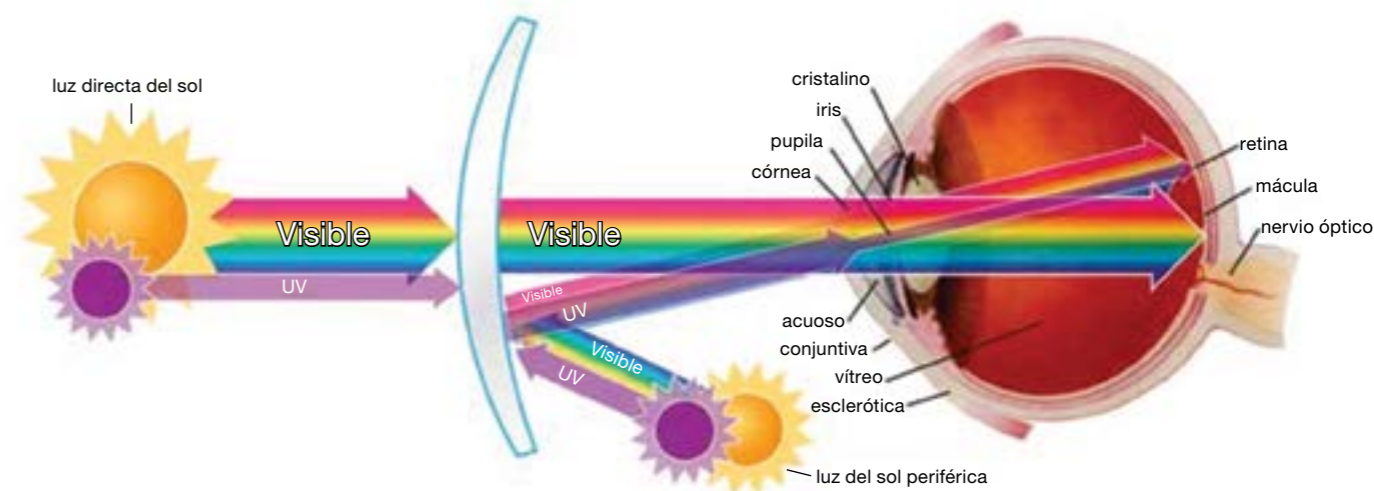


Figura 7 Reflexión de los rayos UV desde la superficie posterior de unas gafas.

Lentes de sol

La mayoría de gafas de sol bloquean eficazmente los rayos UV que inciden directamente delante de las gafas. El estándar Z80.3 del Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI) se basa en la medición de la transmisión de rayos UV y clasifica las gafas de sol en dos categorías: Las gafas de Clase 1 absorben como mínimo el 90 % de los rayos UVA y el 99 % de los UVB; y las gafas de Clase 2 bloquean como mínimo el 70 % de los rayos UVA y el 95 % de los UVB. Con todo, al tratarse de estándares voluntarios, estos criterios pueden ser seguidos o no por los fabricantes de gafas de sol.^{83,84}

Incluso aunque se cumpla estrictamente el estándar Z80.3, el valor de transmisión de las gafas de sol puede ser confuso, ya que en el mejor de los casos es una indicación parcial de la capacidad de las gafas para proteger el ojo de la exposición a los rayos UV. En particular, el valor de transmisión no aborda la cuestión de la radiación proceden el entorno de las gafas, la cantidad de la cual viene determinada por la forma de la montura y su adaptación a la cara. A menos que las gafas tengan una montura de protección, una cantidad importante de rayos UV puede alcanzar el ojo a través de vías alrededor de las gafas (Figura 8).^{85,86} Las mediciones realizadas en maniqués han puesto de relieve

LO QUE NOS DICEN LOS OJOS DE LOS MONTAÑEROS

En Chamonix, Francia, se llevó a cabo un estudio entre 96 guías alpinos. * En el estudio, los ojos de los guías de alta montaña se comparaban con los de personas que, si bien vivían en los Alpes, pasaban mucho menos tiempo a altitudes elevadas. El objetivo era comparar el daño ocular fruto de la exposición a la luz del sol en los dos grupos, asumiendo que cuanto más tiempo se pasaba a altitudes considerablemente superiores, más elevada sería la exposición a los rayos UV.

El estudio puso de manifiesto una incidencia considerablemente mayor de pterigión, pingüecula y catarata cortical entre los guías que en el grupo de habitantes de la misma edad que estaban en altitudes inferiores, lo que demostraba una vez más el papel crítico que tenía la exposición a los rayos UV en el desarrollo de estas enfermedades. El estudio también descubrió que la proporción de guías con depósitos de drusas en la retina casi duplicada la del grupo de control.

* El Chehab H, Blein JP, Herry JP, et al. Ocular phototoxicity and altitude among mountaineer guides. Cartel presentado en la Asociación Europea para la Investigación del Ojo y la Visión; octubre de 2011; Creta, Grecia.

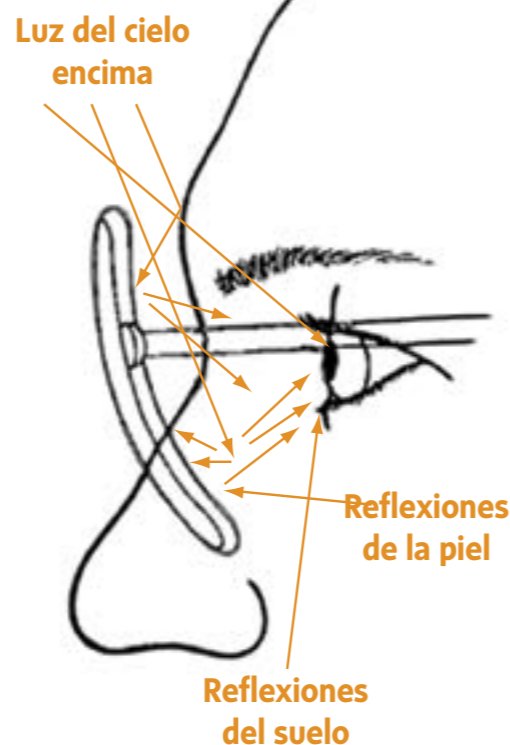


Figura 8 Vías que tienen los rayos UV para alcanzar el ojo con gafas bloqueadoras de los rayos UV.

que solo el 14 % de los rayos UV ambientales alcanzan el ojo cuando las gafas de sol quedan cerca de la frente, pero hasta el 45 % llega al ojo cuando la distancia entre las gafas y la frente es de tan solo 6 mm.⁸⁵

Una montura de protección que quede pegada al ojo puede reducir eficazmente la exposición lateral, pero la mayoría de gafas de sol no ofrecen protección de los rayos procedentes de los laterales.^{57,80,82,85} En algunas condiciones, las gafas de sol sin protección lateral pueden exponer a los usuarios a dosis peligrosas de rayos UV. Los esquiadores, por ejemplo, tienen un alto riesgo de exposición a los rayos UV debido al elevado nivel de reflectancia UV de la nieve. Al desconocer el problema de la exposición lateral, los esquiadores que llevan gafas normales pueden pasar mucho tiempo en las pistas, dando por sentado que sus ojos están adecuadamente protegidos con gafas de sol normales. Si la luz del sol es suficientemente intensa, estos esquiadores pueden sufrir una dolorosa fotoqueratitis, literalmente el equivalente ocular a la quemadura de sol. (Los soldadores que no llevan la protección adecuada y los usuarios de cabinas de bronceado que no ponen cuidado en utilizar las gafas adecuadas también pueden sufrir fotoqueratitis).

Las gafas de sol que permiten que entre luz por los lados pueden aumentar el nivel de exposición del usuario a los rayos UV. La oscuridad de las gafas puede reducir el reflejo natural de entrecerrar el ojo y aumentar el tamaño de la pupila, incrementando los rayos UV que entran en los ojos.⁸⁷⁻⁸⁹

Lentes de contacto que bloquean los rayos UV

Para los pacientes que ya llevan lentes de contacto, las lentes de contacto que bloquean los rayos UV pueden ofrecer una importante protección contra estos rayos.^{90,91} En general, las lentes de contacto se colocan por la mañana y se llevan todo el día, ofreciendo protección todo el tiempo. Las lentes de contacto blandas que se extienden hasta el limbo o más allá pueden bloquear los rayos UV desde todos los ángulos, protegiendo las células madre de la región limbal al bloquear la radiación periférica y anular el efecto de la focalización de la luz periférica. Los factores geométricos del ojo son complejos, y solo una montura de protección o unas lentes de contacto de cobertura total pueden proporcionar protección completa al ojo.

El estándar ANSI Z80.20 reconoce dos niveles de protección de las lentes de contacto: Las lentes de Clase I deben absorber más del 90 % de los rayos UVA (316 a 380 nm) y el 99 % de los rayos UVB (280 a 315 nm), y se recomiendan para entornos de exposición elevada como montañas o playas.⁹² Estos criterios fueron adoptados por la Asociación Optométrica Americana (AOA), que ha ofrecido un sello de aprobación para lentes calificadas. Las lentes de Clase II, recomendadas para fines generales por la FDA, bloquean más del 70 % de los rayos UVA y el 95 % de los UVB. Sin embargo, las lentes de contacto no ofrecen protección para los párpados.

PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO

SITUACIÓN ACTUAL DE LA PROTECCIÓN OCULAR

- El nivel de concientización pública sobre los riesgos oculares de los rayos UV es peligrosamente bajo; la protección de los ojos pocas veces se incluye en las indicaciones generales sobre protección contra los rayos UV
- Las poblaciones de alto riesgo como los niños y los pacientes con afaquia no se protegen adecuadamente
- Pocos profesionales incorporan la protección contra los rayos UV en sus rutinas diarias con los pacientes
- No hay ningún sistema acordado para clasificar la eficacia de las gafas en el sentido más amplio, y en particular la reflexión de los rayos UV, un nuevo peligro descubierto recientemente

ENFOQUES PARA MEJORAR LA PROTECCIÓN OCULAR

- Educar al público
- Educar a los profesionales de la salud
- Desarrollar un factor de protección ocular simplificado similar al SPF
- Llenar las lagunas de conocimiento

Importancia de protegerse contra la exposición acumulada a los rayos UV

Aunque los nuevos datos sobre la capa de ozono son alentadores, ya que indican que los niveles de ozono atmosférico están empezando a estabilizarse, el espesor de la capa de ozono no volverá a los niveles anteriores de 1980 durante varias décadas, como mínimo.^{93,94} La reducción constante de los niveles de ozono significa que la exposición acumulada a la luz del sol tendrá un impacto creciente sobre la salud ocular, y la prevención de las enfermedades oculares asociadas a la exposición a los rayos UV será por lo tanto más importante.⁹⁵

Asimismo, la población está envejeciendo, y cuanto más larga es la vida, mayor es el riesgo de daño acumulado de los rayos UV. Como se muestra en la Figura 9, la dosis de rayos UV acumulada recibida por una persona aumenta linealmente con la edad. Partiendo de la base de una vida de 80 años, las personas recibirán de media una cuarta parte de su dosis vital cada 20 años.⁵⁸

Una mayor incidencia de las enfermedades oculares asociadas con la exposición crónica a los rayos UV implica una mayor morbilidad y un aumento de los costes sanitarios. En contraste con el elevado coste de tratar las enfermedades relacionadas con los rayos UV, reducir la exposición a los rayos UV es relativamente sencillo y económico. La exposición a los rayos UV se puede reducir fácilmente evitando el sol y llevando las gafas de prescripción o las gafas de sol adecuadas. Si la mayoría de la población se concientizara sobre los riesgos de los rayos UV para los ojos y llevara la protección ocular adecuada, se podrían evitar considerablemente la morbilidad y los costes.

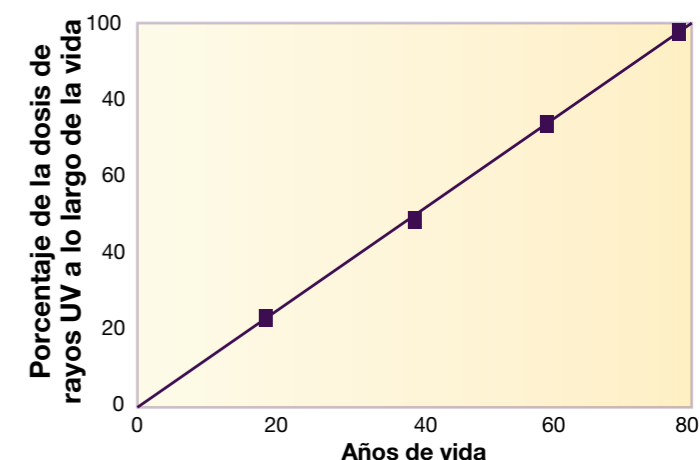


Figura 9 Porcentaje de dosis de rayos UV a lo largo de la vida.

Situación actual de la protección ocular

A pesar de lo que saben los profesionales sobre los peligros de los rayos UV para los ojos, lo que sabe el público sobre la protección ocular es poco en comparación con el mensaje sobre la protección de la piel. Un estudio de 2002 concluyó que el 79 % de la población conocía los peligros de la exposición a los rayos UV para la piel, pero solo el 6 % asociaba los rayos UV con las enfermedades oculares.⁷³ Un estudio realizado por Glavas et al demostró que el 23 % de las personas no llevaba ninguna protección ocular entre una población de 1 000 participantes en Estados Unidos.⁹⁶ Otro estudio más reciente de AOA determinó que aunque dos tercios de los americanos eran conscientes de la necesidad de protegerse los ojos al pasar mucho tiempo al sol, solo el 29 % de los padres se aseguraba de que sus hijos llevaran gafas cuando estaban al aire libre.⁹⁷

Más preocupante que el desconocimiento de las personas respecto a los riesgos de los rayos UV para los ojos es quizás la falta de debate sobre estos riesgos entre los profesionales de la vista y sus pacientes. Como hemos visto, hay muy poco debate sobre los peligros de los rayos UV entre los profesionales de distintas especialidades. Los dermatólogos educan a sus pacientes cada día sobre los riesgos de los rayos UV para la piel sin hacer referencia a la necesidad de protegerse también los ojos.⁹⁸

En Estados Unidos, los estándares para las gafas de protección son voluntarios, mientras que en Europa y Australia se utilizan estándares obligatorios como forma de aplicar la política pública. Esto sitúa a Estados Unidos en desventaja cuando se trata de regulación de las gafas y protección frente a los rayos UV.

Mejora de la protección ocular

Para prevenir el daño de los rayos UV en los ojos hay que traducir los conocimientos existentes sobre los peligros de los rayos UV y sobre la protección ocular en intervenciones eficaces a varios niveles. Esto debe aplicarse a todas las partes implicadas: el público, los profesionales sanitarios y la industria. La estrategia más importante y fundamental conlleva la educación del público y los profesionales de la vista.

Educación pública La educación pública es la clave de cualquier iniciativa seria para reducir los efectos de los rayos UV en la salud ocular, ya que la generalización de la protección del ojo pasa en última instancia por lo que hacen las personas cada día, el hábito de llevar gafas que protejan de los rayos UV en situaciones reales.

Ha habido importantes programas de educación pública sobre la protección frente a los rayos UV, pero desgraciadamente casi todos se centraban en la piel y no en los ojos. Lo positivo es que como mínimo las personas son conscientes de que los rayos UV del sol son un peligro potencial. Es evidente que son necesarias más campañas destinadas a aumentar la protección ocular o la protección de la piel y los ojos. Un ejemplo de campaña que se prolongó durante más de dos años es la amplia campaña de sensibilización sobre los rayos UV del The Vision Council orientada a los profesionales del sector.

Como parte de la educación del público sobre los peligros de los rayos UV para los ojos, será importante eliminar conceptos erróneos sobre las condiciones solares que crean el riesgo máximo.

Pocos saben dentro de la comunidad de profesionales de la visión, por no hablar fuera, que el máximo peligro de los rayos UV para los ojos se produce a principios de la mañana y de la tarde, y no en las horas previas y posteriores al mediodía solar. Del mismo modo, pocas personas, ya sean profesionales de la vista o no, son conscientes de los peligros del albedo y otras limitaciones de las gafas de sol. La conclusión que debemos sacar es no solo la necesidad de proteger el ojo, sino también qué constituye una protección eficaz y cuándo utilizarla (ver Tabla 2).

La tarea es difícil, ya que el comportamiento humano es difícil de cambiar. En Australia, aunque hace décadas que se envían mensajes rotundos sobre la necesidad de protegerse del sol, el cumplimiento por parte de la población sigue siendo relativamente bajo. Hay que aprender mucho sobre cómo educar al público. En el futuro, la cooperación entre dermatólogos y profesionales de la visión será una parte importante para que la educación relacionada con los peligros de los rayos UV y su protección sea un éxito.

Educación de los profesionales de la vista El reto a la hora de educar a los profesionales de la visión no está en divulgar información, sino en asegurarse de que esta información se utiliza para aconsejar a los pacientes como es debido. La importancia de la protección solar es un mensaje del que se suele hablar en las escuelas y en las reuniones profesionales, pero a menudo se pierde entre el aula y la clínica. Por lo tanto, todas las iniciativas educativas de los profesionales deberían tener como objetivo utilizar los conocimientos que tienen para educar a los pacientes sobre la protección del ojo frente a los rayos UV y prescribir las soluciones adecuadas.

Poblaciones de alto riesgo Todas las personas en riesgo por exposición a los rayos UV (es decir, cualquiera que pase tiempo al sol) deberían adoptar medidas para proteger sus ojos. Las personas con la piel oscura quizás no tengan que preocuparse tanto por las quemaduras del sol y el cáncer de piel como las personas con la piel clara, pero esto puede aumentar el riesgo de exposición ocular al parecerles menos importante ponerse un sombrero para protegerse el rostro.

Algunas poblaciones son especialmente vulnerables a los efectos dañinos de los rayos UV. Los adultos que pasan mucho tiempo o trabajan al aire libre es uno de estos grupos. Los niños sufren un riesgo elevado por dos motivos: normalmente pasan más tiempo al aire libre que los adultos y su cristalino transmite mucha más radiación de longitud de onda corta que el cristalino de los mayores. Los niños deben empezar a llevar gafas de sol con una montura adecuada en cuanto sea factible para estar al aire libre.

Los pacientes con afaquia, que no tienen cristalino para absorber los rayos UV, también se encuentran en situación de riesgo.^{99,101} Del mismo modo, los pacientes con las córneas delgadas —incluidos los que tienen la córnea más delgada tras una corrección de la vista con láser y los que presentan ectasias corneales de manera natural, como queratocono y degeneración marginal pelúcida— pueden sufrir riesgos importantes, ya que el estroma corneal absorbe una cantidad elevada de rayos UV.^{13,102} Asimismo, los pacientes que toman medicamentos fotosensibilizantes también son más susceptibles a los posibles efectos adversos de los rayos UV. En el caso de todos los pacientes de alto riesgo, protegerse del sol es extremadamente importante.

OBJETIVOS PARA EL FUTURO

En la reunión se identificaron una serie de necesidades a corto y largo plazo. Además de la educación, necesitamos pruebas que nos permitan evaluar el riesgo y estándares que faciliten a los profesionales la prescripción y a los usuarios la compra de las soluciones protectoras adecuadas. A continuación presentamos una lista de las necesidades identificadas.

- El daño de los rayos UV es acumulativo, y algunas personas pueden ir muy por delante de sus contemporáneos en la cantidad de rayos UV absorbidos debido a una intensa exposición en sus primeros años. Estas personas presentarán un riesgo más elevado de enfermedades relacionadas con los rayos UV más adelante. En la actualidad no tenemos los medios para descubrir quiénes son estas personas para aconsejarles que se protejan de la exposición solar. Por eso un biomarcador para la exposición a los rayos UV sería muy útil para evitar futuras enfermedades. Coroneo ha desarrollado una técnica fotográfica de fluorescencia de los rayos UV en los ojos que parece útil para demostrar la evidencia preclínica de daño solar en la superficie ocular.⁷⁷ Esta tecnología se podría desarrollar como “sistema de alerta temprana” para detectar el exceso de exposición a los rayos UV.
- Un índice para las lentes similar al sistema SPF para las cremas bloqueadoras del sol favorecería unas decisiones de compra racionales a las personas que buscan una protección para los rayos UV.^{91,103} Dicho sistema tendría en cuenta el diseño de la montura y el espectro de transmisión de las lentes.
- El Índice UV actual es mucho más relevante para la exposición de la piel que para la exposición ocular. Es necesario un sistema que ajuste el Índice UV actual a los efectos del ángulo solar.
- La cooperación con los dermatólogos es imprescindible para armonizar los mensajes.⁹⁶ Hay que encontrar un método para reconocer la importancia de la protección de la piel sin menoscabar las necesidades especiales relacionadas con la protección ocular.
- Es preciso ampliar la investigación en muchas áreas, como:
 - a) La importancia, en términos cuantitativos de reflexión de rayos UV, para la parte posterior de las lentes oftálmicas
 - b) Mecanismos por los que los rayos UV causan daño ocular
 - c) Mecanismos de lesión de la retina debida a la luz, incluidos mecanismos fotoquímicos, fototérmicos y fotomecánicos¹⁰⁴
 - d) Tratamiento eficaz para el pterigión
 - e) Papel patogénico de otros factores ambientales, como la temperatura ambiente, en enfermedades oculares como la catarata nuclear^{92,105}

Hay mucho trabajo por hacer. Es fundamental que los profesionales de la vista hagan más para entender los riesgos de los rayos UV y proteger a nuestros pacientes. Simplemente hablando con los pacientes de forma rutinaria sobre la importancia de llevar gafas de sol que ofrezcan una buena protección frente a los rayos UV es un primer paso sencillo y muy útil.

Referencias

- Coroneo MT, Müller-Stolzenburg NW, HoA. Peripheral light focusing by the anterior eye and the ophthalmohelioses. *Ophthalmic Surg.* 1991;22:705-11.
- Coroneo MT. Albedo concentration in the anterior eye and the ophthalmohelioses. Tesis del Máster en Cirugía, Universidad de N.S.W, 1992.
- Lucas RM, Repacholi MH, McMichael AJ. Is the current public health message on UV exposure correct? *Bull World Health Organ.* 2006;84(6):485-91.
- Oliva MS, Taylor H. Ultraviolet radiation and the eye. *Int Ophthalmol Clin.* 2005;45(1):1-17.
- Cadet J, Vigny P. *Bioorganic Photochemistry*. Morrison, H., editor. Wiley; Nueva York: 1990.
- Schreier WJ, Schrader TE, Koller FO, et al. Thymine dimerization in DNA is an ultrafast photochemical reaction. *Science.* 2007; 315: 625-9.
- MacLaughlin JA, Anderson RR, Holick MF. Spectral character of sunlight modulates photosynthesis of previtamin D3 and its photoisomers in human skin. *Science.* 1982;216(4549):1001-3.
- Holick MF, Chen TC. Vitamin D deficiency: a worldwide problem with health consequences. *Am J Clin Nutr.* 2008;87(4):1080S-6S.
- Wolpowitz D, Gilchrist BA. The vitamin D questions: how much do you need and how should you get it? *J Am Acad Dermatol.* 2006;54(2):301-17.
- Rosen ES. Filtration of non-ionizing radiation by the ocular media. En: Cronly-Dillon J, Rosen ES, Marshall J, eds. *Hazards of Light: Myths and Realities of Eye and Skin*. Oxford: Pergamon Press; 1986:145-52.
- Kinsey VE. Spectral transmission of the eye to ultraviolet radiations. *Arch Ophthalmol.* 1948;39:508.
- Walsh JE, Bergmanson JPG, Koehler LV, et al. Fibre optic spectrophotometry for the in vitro evaluation of ultraviolet radiation (UVR) spectral transmittance of rabbit corneas. *Physiological Measurement.* 2008;29:375-88.
- Kolozsvári L, Nográdi A, Hopp B, et al. UV absorbance of the human cornea in the 240- to 400-nm range. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2002;43(7):2165-8.
- Cooper G, Robson J. The yellow color of the lens of man and other primates. *J Physiol.* 1969;203:411.
- Lerman S. Chemical and physical properties of the normal and aging lens: spectroscopic (UV, fluorescence, phosphorescence, and NMR) analyses. *Am J Optom Physiol Opt.* 1987;64:11-22.
- Fishman GA. Ocular phototoxicity: guidelines for selecting sunglasses. En: Perspectives in refraction. Rubin ML, ed. *Surv Ophthalmol.* 1986;31:119-24.
- Werner JS. Children's sunglasses: caveat emptor. *Opt Vision Sci.* 1991;68:318-20.
- McCarty CA, Lee SE, Livingston PM, et al. Ocular exposure to UV-B in sunlight: the Melbourne visual impairment project model. *Bull World Health Organ.* 1996;74(4):353-60.
- Norn MS. Prevalence of pinguecula in Greenland and in Copenhagen, and its relation to pterygium and spheroid degeneration. *Acta Ophthalmol (Copenh).* 1979;57:96-105.
- Norn MS. Spheroidal degeneration, keratopathy, pinguecula, and pterygium in Japan (Kyoto). *Acta Ophthalmol Scand.* 1984;62:54-60.
- Taylor HR. A historic perspective of pterygium. En Taylor HR, ed. *Pterygium*. Kugler Publications. La Haya, Países Bajos. 2000; 3-13.
- Moran DJ, Hollows FC. Pterygium and ultraviolet radiation: a positive correlation. *Br J Ophthalmol.* 1984;68:343-6.
- Horner DG, Long A, Roseland J, et al. Pterygia, cataract, and age-related macular degeneration in a Hispanic population. *Optom & Vis Sci.* 2006;83(Sup).
- Heriot WJ, Crock GW, Taylor R, et al. Ophthalmic findings among one thousand inhabitants of Rarotonga, Cook Islands. *Aust J Ophthalmol.* 1983;11(2):81-94.
- Gray RH, Johnson GJ, Freedman A. Climatic droplet keratopathy. *Surv Ophthalmol.* 1992; 36(4):241-53.
- Foster A. Vision 2020: The Cataract Challenge. *Community Eye Health.* 2000; 13(34): 17-19.
- Rein DB, Zhang P, Wirth KE, et al. The economic burden of major adult visual disorders in the United States. *Arch Ophthalmol.* 2006;124(12):1754-60. Fe de erratas en: *Arch Ophthalmol.* 2007;125(9):1304.
- Problemas de visión en Estados Unidos, Actualización de la cuarta edición 2008. The National Eye Institute y Prevent Blindness America. 2008.
- Taylor HR, West SK, Rosenthal FS, et al. Effect of ultraviolet radiation on cataract formation. *New Engl J Med.* 1988;319:1429-33.
- Cruickshanks KJ, Klein BE, Klein R. Ultraviolet light exposure and lens opacities: the Beaver Dam Eye Study. *Am J Public Health.* 1992;82(12):1658-62.
- West SK, Duncan DD, Munoz B, et al. Sunlight exposure and risk of lens opacities in a population-based study: the Salisbury Eye Evaluation Project. *JAMA.* 1998;280:714-18.
- Sasaki K, Sasaki H, Kojima M, et al. Epidemiological studies on UV-related cataract in climatically different countries. *J Epidemiol.* 1999;9(6 Supl):S33-8.
- McCarty CA, Taylor HR. A review of the epidemiologic evidence linking ultraviolet radiation and cataracts. *Dev Ophthalmol.* 2002; 35:21-31.
- Coroneo MT. Pterygium as an early indicator of ultraviolet insolation: a hypothesis. *Br J Ophthalmol.* 1993;77(11):734-9.
- Schein OD, West S, Munoz B, et al. Cortical lenticular opacification: distribution and location in a longitudinal study. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1994;35:363-6.
- Mitchell P, Cumming RG, Attebo K, et al. Prevalence of cataract in Australia: the Blue Mountains eye study. *Ophthalmology.* 1997;104(4):581-8.
- Sasaki H, Kawakami Y, Ono M, et al. Localization of cortical cataract in subjects of diverse races and latitude. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2003;44(10):4210-4.
- West SK, Rosenthal FS, Bressler NM, et al. Exposure to sunlight and other risk factors for age-related macular degeneration. *Arch Ophthalmol.* 1989;107:875-9.
- Cruickshanks KJ, Klein R, Klein BE. Sunlight and age-related macular degeneration. The Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol.* 1993;111:514-18.
- Darzi P, Mitchell P, Heller RF. Sun exposure and age-related macular degeneration. An Australian case-control study. *Ophthalmology.* 1997;104:770-6.
- Mitchell P, Smith W, Wang JJ. Iris color, skin sun sensitivity, and age-related maculopathy. The Blue Mountains Eye Study. *Ophthalmology.* 1998;105(8):1359-63.
- Wang JJ, Jakobsen K, Smith W, et al. Five-year incidence of age-related maculopathy in relation to iris, skin or hair colour, and skin sun sensitivity: the Blue Mountains Eye Study. *Clin Experiment Ophthalmol.* 2003;31(4):317-21.
- Tomany SC, Cruickshanks KJ, Klein R, et al. Sunlight and the 10-year incidence of age related maculopathy: the Beaver Dam Eye Study. *Arch Ophthalmol.* 2004;122:750-7.
- Pham TQ, Rochtchina E, Mitchell P, Smith W, Wang JJ. Sunlight-related factors and the 10-year incidence of age-related maculopathy. *Ophthalmic Epidemiol.* 2009;16(2):136-41.
- Sinha RP, Hader DP. UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochem Photobiol Sci.* 2002;1:225-36.
- Stern, RS. Prevalence of a history of skin cancer in 2007: results of an incidence-based model. *Arch Dermatol.* 2010;146(3):279-82.
- Armstrong BK, Kricker A. How much melanoma is caused by sun exposure? *Mel Res.* 1993 3(6):395-401.
- Pleasant ED, Cheetham RK, Stephens PJ, et al. A comprehensive catalogue of somatic mutations from a human cancer genome. *Nature.* 2009; 463:191-6.
- Rogers HW, Weinstock MA, Harris AR, et al. Incidence estimate of nonmelanoma skin cancer in the United States, 2006. *Arch Dermatol.* 2010; 146(3):283-7.
- Linos E, Swetter SM, Cockburn MG, Colditz GA, Clarke CA. Increasing burden of melanoma in the United States. *J Invest Dermatol.* 2009; 129(7):1666-74.
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos. Health effects of overexposure to the sun. Actualizado el 1 de julio de 2010. Acceso el 25 de enero de 2011.
- Chen C, et al. Economic burden of melanoma in the elderly population. Population-based analysis of the surveillance, epidemiology, and end results (SEER)—Medicare data. *Arch Dermatol.* 2010; 146(3):249-56.
- Cook BE Jr, Bartley GB. Treatment options and future prospects for the management of eyelid malignancies: an evidence-based update. *Ophthalmology.* 2001;108(11):2088-98.
- Bergmanson JPG, Ostrin LG, Walsh JE, et al. Correlation between ultraviolet radiation exposure of the eyelids and location of skin cancer. The Association for Research in Vision and Ophthalmology, Fort Lauderdale, Florida, 2001;42(4):s335.
- Schmidt-Pokrzywniak A, Jöckel KH, Bornfeld N, et al. Positive interaction between light iris color and ultraviolet radiation in relation to the risk of uveal melanoma: a case-control study. *Ophthalmology.* 2009;116(2):340-8.
- Vajdic CM, Kricker A, Giblin M, et al. Sun exposure predicts risk of ocular melanoma in Australia. *Int J Cancer.* 2002;101(2):175-82.
- Sliney DH. Geometrical assessment of ocular exposure to environmental UV radiation—implications for ophthalmic epidemiology. *J Epidemiol.* 1999;9(6 Supl):S22-32.
- Godar DE. UV doses worldwide. *Photochem Photobiol.* 2005;81(4): 736-49.
- Sydenham MM, Collins MJ, Hirst LW. Measurement of ultraviolet radiation at the surface of the eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1997;38(8):1485-92.
- Sliney DH. UV radiation ocular exposure dosimetry. *J Photochem Photobiol B.* 1995;31(1-2):69-77.
- Ajavon AL, Albritton DL y Watson RT. Evaluación científica del agotamiento del ozono de la Organización Meteorológica Mundial: 2006, Proyecto de Investigación y control del ozono global - Informe N° 50, ed. 2007.
- Madronich S, McKenzie RL, Bjorn LO, et al. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *J Photochem Photobiol B.* 1998;46:5-19.
- McKenzie RL, Bjorn LO, Bais A, et al. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the earth's surface. *Photochem Photobiol Sci.* 2003;2:5-15.
- Cameron M. *Pterygium Throughout the World*. Springfield, IL, Charles C Thomas, 1965.
- Mims FM and JE Frederick. Cumulus clouds and UV-B. *Nature.* 1994; 311:291.
- Parisi AV, Kimlin MG, Wong JCF, et al. Personal exposure distributions of solar erythema1 ultraviolet radiation in tree shade over summer. *Phys Med Biol.* 2000;45:349-56.
- Sliney D. Physical factors in cataractogenesis: ambient ultraviolet radiation and temperature. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 1986;27:781-90.
- McKenzie RL, Paulin KJ, Madronich S. Effects of snow cover on UV irradiance and surface albedo: a case study. *J Geophys Res.* 1998;103:28,785-92.
- Jacobson MZ. Global direct radiative forcing due to multicomponent anthropogenic and natural aerosols. *J Geophys Res.* 2001;106:1551-68.
- Scotto J, Cotton G, Urbach F, et al. Biologically effective ultraviolet radiation: surface measurements in the United States, 1974 to 1985. *Science.* 1988;484:762-4.
- Rigel DS, Rigel EG, Rigel AC. Effects of altitude and latitude on ambient UVB radiation. *J Am Acad Dermatol.* 1999;40(1):114-6.
- Godar DE, Wengraitis SP, Shreffler J, et al. UV doses of Americans. *Photochem Photobiol.* 2001;73:621-9.
- Baldy C, Greenstein V, Holopigian K, et al. *Light, Sight, and Photochromics*. Pinellas Park, Florida: Transitions Optical Inc. 2002.
- Sasaki H, Sakamoto Y, Schneider C, et al. UV-B exposure to the eye depending on solar altitude. *Eye Contact Lens.* 2011;37(4):191-5.
- Coroneo MT. Albedo concentration in the anterior eye: a phenomenon that locates some solar diseases. *Ophthalmic Surg.* 1990;21(1):60-6.
- Kwok LS, Daszynski DC, Kuznetsov VA, et al. Peripheral light focusing as a potential mechanism for phakic dysphotopsia and lens phototoxicity. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2004;24(2):119-29.
- Coroneo M. Ultraviolet radiation and the anterior eye. *Eye Contact Lens.* 2011;37(4):214-24.
- Kwok LS, Coroneo MT. Temporal and spatial growth patterns in the normal and cataractous human lens. *Exp Eye Res.* 2000;71:317-22.
- Lindgren G, Diffey BL, Larko O. Basal cell carcinoma of the eyelids and solar ultraviolet radiation exposure. *Br J Ophthalmol.* 1998;82:1412-15.
- Sakamoto Y, Kojima M, Sasaki K. Effectiveness of eyeglasses for protection against ultraviolet rays. *Nihon Ganka Gakkai Zasshi.* 1999;103(5):379-85.
- Hall GW, Schultmeyer M. The FUBI system for solar rating nonprescription eyewear. *Optometry.* 2002;73(7):407-17.
- Citek K. Anti-reflective coatings reflect ultraviolet radiation. *Optometry.* 2008;79(3):143-8.
- Davis JK. The sunglass standard and its rationale. *Optom Vis Sci.* (1990); 67:414-430.
- Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI), Requisitos de la norma nacional estadounidense para las gafas de sol sin prescripción y tendencias en gafas, estándar Z80.3-1996, ANSI, Nueva York, 1996.
- Rosenthal FS, Bakalian AE, Lou CQ, et al. The effect of sunglasses on ocular exposure to ultraviolet radiation. *Am J Public Health.* 1988;78(1):72.
- Sliney DH. Eye protective techniques for bright light. *Ophthalmology.* 1983;90(8):937-44.
- Segre G, Reccia R, Pignalosa B, et al. The efficiency of ordinary sunglasses as a protection from ultraviolet radiation. *Ophthalmic Res.* 1981;13:180-187.
- Sliney DH. Photoprotection of the eye—UV radiation and sunglasses. *J Photochem Photobiol B.* 2001;64:166-75.
- Deaver DM, Davis J, Sliney DH. Vertical visual fields-of-view in outdoor daylight. *Lasers Light Ophthalmol.* 1996;7:121-5.
- Walsh JE, Bergmanson JPG, Saldana G Jr, et al. Can ultraviolet radiation (UVR) blocking soft contact lenses attenuate UV radiation to safe levels during summer months in the southern United States? *Eye & Contact Lens.* 2003;29(1S): S174-S179.
- DeLoss KS, Walsh JE, Bergmanson JPG. Current silicone hydrogel lenses and their associated protection factors. *Contact Lens and Anterior Eye.* 2010;33:136-140.
- Instituto Nacional de Normalización Estadounidense (ANSI) Norma nacional estadounidense Z80.20:2004 para oftalmología - lentes de contacto - terminología estándar, tolerancias, mediciones y propiedades psicoquímicas.
- McKenzie RL, Aucamp PJ, Bais AF, et al. Changes in biologically active ultraviolet radiation reaching the Earth's surface. *Photochem Photobiol Sci.* 2007;6(3):218-31.
- Organización Meteorológica Mundial. Evaluación científica del agotamiento del ozono: 2010. Proyecto de investigación y control del ozono global — Informe N° 52, 2010.
- Novral M, Cullen AP, de Gruijl FR, et al. The effects on human health from stratospheric ozone depletion and its interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci.* 2007;6(3):232-51.
- Glavas IP, Patel S, Donsoff I, et al. Sunglasses- and photochromic lens-wearing patterns in spectacle and/or contact lens-wearing individuals. *Eye and Contact Lens.* 2004;30(2):81-4.
- Encuesta AOA American Eye-Q® 2009. http://michigan.aoa.org/documents/American_Eye-Q_Executive_Summary_2009.pdf
- Wang SQ, Balagula Y, Osterwalder U. Photoprotection: a review of the current and future technologies. *Dermatol Ther.* 2010;23(1):31-47.
- Klein R, Klein BE, Jensen SC, et al. The relationship of ocular factors to the incidence and progression of age related maculopathy. *Arch Ophthalmol.* 1998;116: 506-13.
- Mitchell P, Wang JJ, Foran S, et al. Five-year incidence of age-related maculopathy lesions. The Blue Mountain Eye Study. *Ophthalmology.* 2002;109:1092-7.
- Wang JJ, Klein R, Smith W, et al. Cataract surgery and the 5-year incidence of late-stage age-related maculopathy. Pooled findings from the Beaver Dam and Blue Mountain Eye Studies. *Ophthalmology.* 2003;110:1960-7.
- Bergmanson JPG, Walsh JE, Koehler LV, et al. When a contact lens is the healthier choice. *Contact Lens Spectrum: Edición especial.* Mayo de 2007; 30-5.
- Walsh JE, Bergmanson JPG. Does the eye benefit from wearing UV blocking contact lenses? *Eye & Contact Lenses.* 2011;37(4):267-72.
- Youssef PN, Sheibani N, Albert DM. Retinal light toxicity. *Eye (Lond).* 2011;25(1):1-14.
- Sasaki H, Jonasson F, Shui YB, et al. High prevalence of nuclear cataract in the population of tropical and subtropical areas. *Dev Ophthalmol.* 2002;35:60-9.