

EFECTOS ACTINICOS DE LA RADIACION OPTICA



ALICIA PONS AGLIO
Dra. en Ciencias Físicas.
Jefe Laboratorio Radiometría.
Instituto de Optica CSIC.



ENTENDEMOS por efectos actínicos los efectos (tanto beneficiosos como perjudiciales, excluyendo la visión) de la radiación óptica sobre sistemas biológicos y fotoquímicos. En este contexto, hay que entender que se deben incluir los efectos producidos sobre sistemas tanto vivientes como no vivientes, es decir, hombres, animales, plantas y materiales.

En esta definición hay que destacar el hecho de la extensión de los efectos actínicos a los producidos por todo el rango de longitudes de onda de la radiación óptica: ultravioleta, visible e infrarrojo; quedando así anulado el concepto antiguo en el que se relacionaba la palabra actínico con los efectos (principalmente reacciones químicas) producidas únicamente por la radiación ultravioleta.

El hombre, en su entorno diario (tiempo de esparcimiento, ambiente laboral, ambiente doméstico, etc.) se encuentra continuamente expuesto a la radiación óptica, bien por exposición a la radiación natural del Sol, bien a fuentes de radiación artificiales. En los últimos años estamos asistiendo a un interés creciente en los efectos beneficiosos y perjudiciales que la radiación óptica puede



producir en el cuerpo humano. Este tópico, que antiguamente, y debido al concepto erróneo ya mencionado de la palabra actínico, estaba confinado en áreas tan específicas como la fotobiología y la fotodermatología, hoy en día está siendo considerado de una manera muy detallada por una gran variedad de colectivos profesionales, como, por ejemplo, arquitectos, diseñadores e ingenieros de iluminación, así como diversas organizaciones internacionales, preocupadas en la elaboración de recomendaciones oficiales que permiten establecer una correcta legislación sobre este punto, vital sobre todo desde el punto de vista del ambiente laboral.

En este sentido la Comisión Internacional de Iluminación (CIE), a

través de una de sus Divisiones, en concreto la División VI (Fotobiología y Fotoquímica), se ocupa del estudio y evaluación de los efectos actínicos que la radiación óptica produce sobre los organismos vivos y no vivos, y en particular sobre el hombre. Una idea sobre lo diversificado y multidisciplinar de este campo, se puede obtener del gran número de Comités Técnicos que dentro de la División VI trabajan en este tema, y que sólo para el caso de los efectos actínicos producidos sobre el hombre se pueden ver en la tabla I.

Antes de entrar a analizar brevemente los efectos que la radiación óptica produce en el hombre, vamos a introducir una serie de conceptos. En primer lugar, es conveniente recordar la división que se hace dentro de las diferentes regiones espectrales de la radiación óptica, y los rangos de longitudes de onda que cubren cada una de ellas.

Ultravioleta (200-400 nm):

- UV-C: 200-290 nm.
- UV-B: 290-315 nm.
- UV-A: 315-400 nm.

Visible: 400-760 nm.

Infrarrojo:

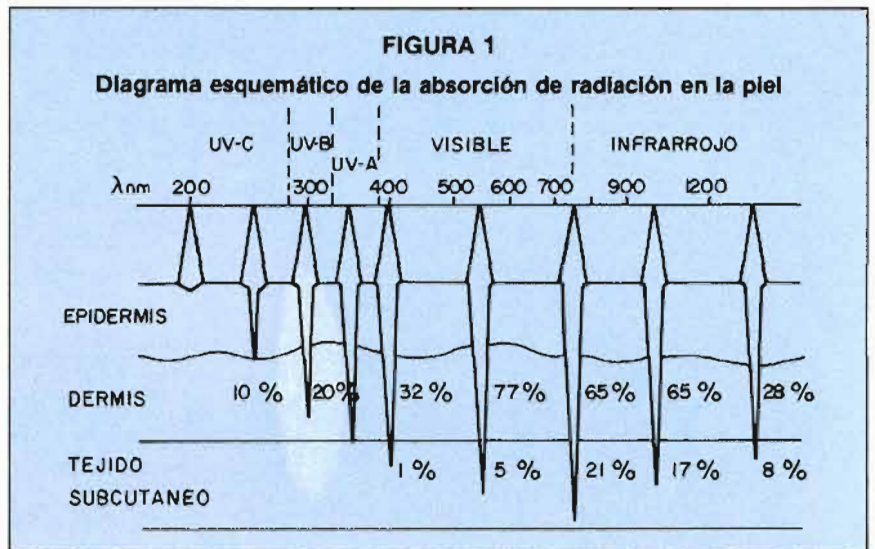
- IR-A: 760-1.400 nm.
- IR-B: 1.400-3.000 nm.
- IR-C: 3.000 nm.

Como los efectos actínicos están directamente relacionados con la absorción de radiación óptica, cada efecto dependerá principalmente del número de fotones absorbido y de su energía. Por lo tanto dependen de:

- Irradiancia: E_w .
- Distribución espectral relativa de la radiación S_λ .
- Responsividad espectral relativa del objeto irradiado: $S(\lambda)$ off. rel.
- Tiempo de exposición: t .

Dentro de estas cuatro variables, la que en la actualidad entraña más dificultad en su conocimiento es la responsividad espectral relativa del objeto irradiado, lo que a partir de aquí denominaremos *espectro de acción* y que nos va a definir qué rango espectral y en concreto qué longitudes de onda de la radiación óptica resultan más efectivas para producir un efecto determinado.

Como el producto de una reacción de un receptor concreto depende principalmente del número de fotones absorbido, como primera consecuencia importante hay que establecer que carece de interés si la misma cantidad de fotones se ha



absorbido en un intervalo de tiempo más o menos largo.

Para poder distinguir un efecto de cualquier reacción actínica, es necesario tomar una serie de acuerdos. Por ello es necesario establecer un cierto nivel de efecto actínico considerado, lo que se conoce como cantidades límite (cantidad mínima a la que un efecto es notable). De acuerdo con esto, se define la exposición radiante como límite o dosis. Hay que destacar el hecho de que, en la actualidad, esta cantidad no está perfectamente establecida para todos los efectos actínicos conocidos.

En resumen, y por todo lo anteriormente expuesto, en la actualidad los mayores esfuerzos de los investigadores involucrados en este campo van dirigidos al estudio y evaluación de dos variables concretas; espectro de acción y cantidad mínima a la que el efecto es notable o dosis.

EFFECTOS ACTINICOS SOBRE EL HOMBRE

Dentro de los posibles efectos actínicos que la radiación óptica puede producir en el hombre vamos a distinguir tres grandes grupos:

- Efectos actínicos sobre la piel.
- Efectos actínicos sobre el ojo.
- Efectos actínicos sobre el cuerpo como un conjunto.

EFFECTOS ACTINICOS SOBRE LA PIEL

Obviando hechos tan importantes como las diferencias que existen en la piel a lo largo de la superficie del cuerpo humano, diferencias entre las distintas razas y consecuencias que

pueden tener a largo plazo exposiciones previas, y que representan el problema fundamental en la cuantificación de los efectos actínicos sobre la piel, en la figura 1 se presenta un esquema de la histología de la piel, así como la capacidad de penetración de la radiación óptica dentro de las distintas capas.

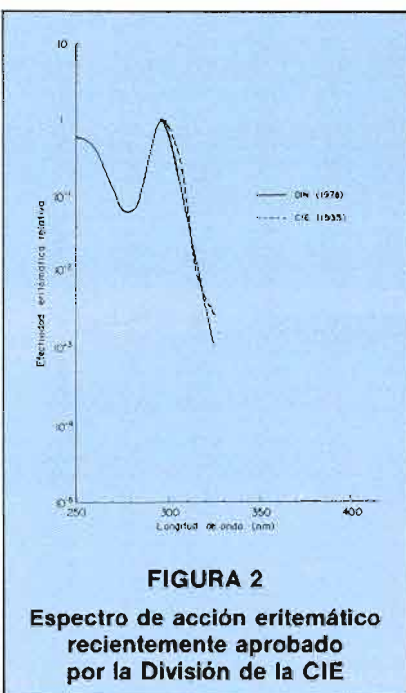
Como se ve en la figura, una cantidad considerable de radiación ultravioleta es absorbida en la dermis, y la radiación de longitudes de onda más larga penetra hasta los tejidos subcutáneos. Esta cantidad de radiación absorbida en las distintas capas de la piel puede producir efectos tanto, beneficiosos como perjudiciales, y de una manera más amplia los podemos clasificar en:

- efectos beneficiosos;
- efectos autoprotectores de la piel, y
- efectos perjudiciales.

Efectos beneficiosos. Formación de vitamina D

El único efecto actínico beneficioso sobre la piel, bien establecido, es la formación de vitamina D por absorción de radiación ultravioleta. Otros como la mejor resistencia a infecciones y similares no están en la actualidad bien establecidos, aunque probablemente no sean independientes de la formación de vitamina D.

De todos es conocida la importancia que la vitamina D tiene en el desarrollo del cuerpo humano y sobre todo en la prevención del raquitismo, condición que se produce por un inadecuado metabolismo del calcio debido a deficiencias de colicalciferol. Uno de los tratamientos tradicionales contra el raquitismo es irra-



te efecto, en cuanto a su espectro de acción. La mayoría están de acuerdo en que es debido a la absorción de UV-B y que este rango es 3 ó 4 órdenes de magnitud más eficaz que la radiación UV-A. No existe, sin embargo, acuerdo acerca de la eficiencia de radiación visible apuntada por algunos investigadores.

En cuanto a la dosis necesaria, parece que la mayoría establece que la cantidad de energía radiante límite que se necesita para producir vitamina D es bastante inferior a la que produciría efectos perjudiciales como eritema y cáncer de piel.

Autoprotección de la piel

Solamente mencionaremos aquí los efectos de autoprotección más importantes, como son el bronceado, aumento del espesor de la piel y efecto del ácido urocánico; haciendo notar el hecho de que, en general (con la excepción del uso de las denominadas lámparas solares para el bronceado), este tipo de efectos sólo es posible encontrarlo en exposiciones de la piel a la radiación natural del Sol y no por iluminación artificial.

Efectos perjudiciales en la piel

Los daños o efectos perjudiciales que la absorción de radiación óptica puede producir en la piel los podemos dividir en tres: lesión aguda: quemadura; enfermedad actínica aguda: eritema, y enfermedad crónica: cáncer de piel.

La primera de ellas se refiere concretamente a quemaduras térmicas y resulta de momentáneas pero muy

intensas exposiciones al calor, y es producida por la radiación visible y principalmente por la radiación IR. No vamos a entrar aquí en un análisis más detallado sobre este punto concreto, solamente resaltar que los niveles requeridos de radiación visible de IR para causar lesión son bastante altos, al menos varios W/cm² y que dependen, además de la longitud de onda concreta de irradiación y del tiempo de exposición, del área de la piel que se vea expuesto a la radiación óptica.

Entre los segundos efectos mencionados, enfermedad actínica aguda, producidos por la radiación óptica, y en particular por la radiación UV, está el eritema, que es quizá uno de los efectos más estudiados y a la vez más sometido a controversias en relación a su espectro de acción y a la dosis necesaria para su formación.

En general, la palabra eritema es lo que conocemos como enrojecimiento de la piel, y puede comenzar a los pocos minutos de exposición al Sol o fuentes de radiación UV artificiales. El más importante es el que se conoce como quemadura solar, que puede aparecer varias horas después de la exposición y mantenerse durante varios días.

A pesar del gran número de factores que intervienen en la producción del eritema, aumentados por el hecho de la propia definición de eritema o grado de enrojecimiento, y como consecuencia de ello, la gran variedad de resultados que se han publicado sobre este tema, la necesidad de definir un espectro de acción estándar para el eritema, llevó a la División VI de la CIE a realizar un estudio profundo, con la consecuencia de adoptar y recomendar el espectro de acción que se ve reflejado en la figura 2. En ella también están representadas las curvas recomendadas hasta entonces por la CIE y DIN. La curva recomendada es la representada en trazo fino y continuo.

Como se ve en la figura, el rango de longitudes de onda que es más susceptible de producir eritema o quemadura solar es el UV-C, siendo los UV-B y UV-A varios órdenes de magnitud por debajo de aquél. Es importante destacar que un hecho que ha llevado a recomendar el espectro de acción aquí mostrado ha sido el convencimiento de que esta curva de responsividad espectral relativa sería más fácil de reproducir en un instrumento de medida que las anteriormente aceptadas.

El más característico de los efectos actínicos crónicos estudiados has-

diar la piel con rayos ultravioletas.

La absorción de radiación UV-B produce en la piel el precursor de la vitamina D₃, la cual en el hígado y riñones se convierte en una forma soluble de la misma, que al llegar al intestino induce un factor de transporte del calcio que se transporta hasta los huesos, donde se deposita el calcio y sales fosfato.

Como se estableció anteriormente, para cuantificar los efectos actínicos es necesario conocer el espectro de acción del efecto concreto y las cantidades mínimas (límites) o dosis necesarias para producirlo.

En este caso concreto, formación de vitamina D, existen todavía algunas discrepancias entre los diversos investigadores que han estudiado es-

ta el momento actual es el cáncer de piel, que suele manifestarse a partir de los cincuenta años. Con respecto a este efecto no existen muchos datos de experimentos directos sobre carcinogénesis del hombre, aparte de algunos estudios dermatológicos sobre efectos perjudiciales de algunas fototerapias. La única evidencia importante que existe es que hay una correlación estadística entre incidencia del cáncer y exposición al sol.

Debido a su naturaleza, es muy difícil determinar el espectro de acción para el cáncer de piel, pero los experimentos realizados en algunos animales sugieren una especial sensibilidad a la radiación ultravioleta. Se cree que es similar al espectro de acción del eritema; sin embargo, según algunos estudios parece que es más eficiente el rango de radiaciones comprendidas en el UV-B y no el UV-C como ocurre con el eritema.

Un caso concreto de cáncer de piel, y que en los últimos veinte o treinta años ha visto incrementada su incidencia en todo el mundo en al menos un 10 ó 15 por 100 por año, es el melanoma maligno. Los estudios estadísticos realizados a este respecto dan una incidencia mayor en trabajadores de interior y entre personas jóvenes y principalmente mujeres. La mayor incidencia de riesgo se da en personas de raza blanca que habitan en zonas ecuatoriales, pero difiere del cáncer de piel en que no necesariamente se manifiesta en áreas del cuerpo normalmente expuestas a la radiación; aproximadamente el 40 por 100 de los casos se manifiesta en áreas no expuestas.

Las causas y mecanismos de desarrollo de este tipo de cáncer de piel no son conocidas, y además su interrelación con la radiación UV también es discutida, ya que existen efectos inmunológicos y otros factores ambientales.

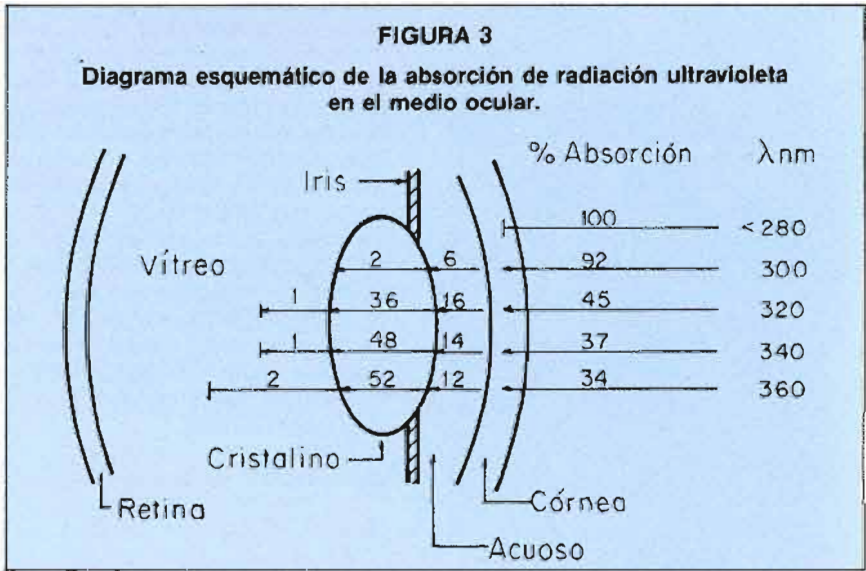
«En España son frecuentes en los trabajadores agrícolas y marineros los epitelomas basocelulares, localizados en los dos tercios superiores de la cara, si bien pueden presentarse en todo el cuerpo, se localizan preferentemente a partir de la comisura labial hacia arriba. La edad de aparición corresponde a la cuarta y quinta décadas de la vida. La forma más frecuente es la superficial, apareciendo como una pápula que se ulcera rápidamente y posteriormente se cicatriza, extendiéndose periféricamente por la superficie de la piel. No suelen producir metástasis.

Los epitelomas espinocelulares, que se localizan en el labio inferior, son tumores malignos, agravados por el consumo de cigarrillos, sobre todo en aquéllos que llevan el cigarro en el labio inferior».



El aumento de riesgo de melanoma por exposición a iluminación fluorescente, manifestado por Beral en 1982, por medio de estudios estadísticos, y confirmado por Pasternak en 1983, no ha sido confirmado en estudios posteriores, aunque algunos de ellos muestran una tendencia positiva para situaciones particulares. Así, se puede decir que no existe una evidencia real para una correlación positiva entre los dos efectos.

Además, no debe olvidarse que cualquier relación estadística no es una prueba de una relación causal, por lo que se sugiere que en posteriores estudios se preste una especial atención a otros posibles agentes (químicos, quemaduras solares, etc.), que pueden estar estadísticamente ligados a la exposición a iluminación fluorescente, especialmen-



Incidencia de la iluminación fluorescente sobre los efectos actínicos

Según lo visto anteriormente, existe una incidencia muy importante por parte de la radiación ultravioleta en la producción de efectos actínicos sobre la piel. Las lámparas fluorescentes utilizadas en iluminación emiten radiación ultravioleta, sobre todo en el rango UV-A y en menor medida en UV-B. Este hecho, junto con el aumento mencionado de casos de cáncer de piel y en concreto de melanoma maligno, ha motivado un gran número de investigaciones encaminadas a intentar verificar o desmentir la posibilidad, apuntada por algunos autores, de que este tipo de iluminación fuera el responsable de este aumento apreciado en el número de efectos actínicos sobre la piel.

te porque no es nada clara, como apuntábamos antes, la interrelación entre la exposición a la radiación ultravioleta y la aparición de melanoma maligno.

Con respecto al riesgo de producción de algún grado de eritema por parte de la radiación ultravioleta emitida por las lámparas fluorescentes, hay que constatar que puede no ser insignificante, si se suma a la dosis ya recibida de radiación solar, y más aún en longitudes de onda por debajo de 295 nm, donde la irradiancia solar tiende a cero (por la absorción debida a la capa de ozono), existe todavía una débil emisión de las lámparas fluorescentes. Por ello, aunque discretos, desde el punto de vista biológico, se pueden producir efectos adversos por estas emisiones.

En conclusión, y aunque es dudoso que la emisión ultravioleta de lámparas fluorescentes produzca un

El único efecto actínico beneficioso de la radiación UV sobre la piel, bien establecido, es la formación de vitamina D por absorción de radiación ultravioleta. Como efectos perjudiciales existen tres tipos: quemaduras, eritemas y cáncer de piel.



aumento significativo en la incidencia de efectos actínicos sobre la piel, se plantea la posibilidad de que la radiación recibida pueda aumentar los efectos adversos causados por la exposición a la radiación solar. Por lo tanto se recomienda que el nivel de radiación ultravioleta emitido por las lámparas fluorescentes por debajo de 320 nm se mantengan tan bajo como sea posible, mediante el uso de cubiertas de plástico, recubrimientos de vidrio seleccionado, etc.

EFFECTOS ACTINICOS SOBRE EL OJO

Las propiedades ópticas del ojo, en cuanto a absorción espectral de la radiación óptica por el mismo, se pueden ver representadas en la figura 3.

Como se aprecia en la figura, se pueden distinguir varias capas: córnea, humor acuoso, cristalino, humor vítreo y retina. Todos, hasta la retina, son transparentes a la radiación visible, la cual se focaliza y concentra en la retina dando lugar al fenómeno de la visión.

La córnea es el primer absorbente de radiación UV para longitudes de onda inferiores a 310 nm y por tanto es un filtro eficaz para el UV-C, lo que representa una protección para las estructuras internas del ojo. En cuanto al UV-A, es transmitido en gran parte por la córnea pero absorbido prácticamente por el cristalino.

Con respecto al comportamiento con la radiación IR (no representado en la figura) apuntaremos que la córnea es bastante transparente al IR-A (760-1.400 nm). En el rango IR-

B (1.400-3.000 nm) hay dos bandas de absorción estrechas en 1.430 y 1.959 nm. Por encima de 2.000 nm, la absorción es muy alta, lo que hace que la córnea sea susceptible de calentamiento por radiación de infrarrojo lejano. El IR-C puede producir en la córnea una quemadura similar a la que mencionamos se puede producir en la piel por absorción de radiación IR.

Dependiendo de dónde sea absorbida la radiación óptica, en qué parte de la estructura del ojo, se pueden producir distintos efectos actínicos. Los más importantes son: fotoqueratitis, fotoconjuntivitis y cataratas.

Con respecto a los dos primeros,

destacaremos que algunos autores no hacen una distinción entre los dos y definen un único efecto que engloba a los anteriores, denominado fotoqueratoconjuntivitis.

Según la nomenclatura médica, el término conjuntiva se usa para designar al tejido que cubre el ojo, incluyendo la córnea. Por esa razón puede parecer razonable el que algunos autores establezcan que el espectro de acción es idéntico para ambos efectos. Sin embargo, la córnea y la conjuntiva están compuestas de diferentes tejidos y células, siendo la diferencia más obvia el que la conjuntiva contiene vasos sanguíneos, mientras que la córnea está

Tabla I

Lista de Comités Técnicos de la División VI que tratan temas de efectos actínicos de la radiación óptica sobre el hombre

T.C. 6-01	Estado del arte sobre efectos actínicos en el hombre.
T.C. 6-02	Espectro de acción eritemático UV de referencia.
T.C. 6-03	Fotoqueratitis y fotoconjuntivitis.
T.C. 6-06	Fuentes UV de interés para ingenieros de iluminación.
T.C. 6-07	Recomendación de métodos de medida de radiación óptica en relación con el efecto.
T.C. 6-08	Obtención práctica de espectros de acción.
T.C. 6-09	Melanoma maligno e iluminación fluorescente.
T.C. 6-10	Propiedades actínicas de las lámparas solares.
T.C. 6-11	Efectos sistemáticos de la radiación óptica.
T.C. 6-12	Fototesting de agentes de protección óptica.
T.C. 6-14	Riesgo de la luz azul.
T.C. 6-15	Características de reflexión, transmisión y absorción del ojo humano.
T.C. 6-16	Efectos psicobiológicos de la iluminación.
T.C. 6-17	Variación espacial y temporal de la exposición a la radiación y comportamiento humano.
T.C. 6-18	Riesgo potencial asociado con lámparas de halógeno.

Tabla II

Tiempo de exposición necesario, tm.co, para la producción de fotoconjuntivitis, bajo radiación global (sol-cielo) y varios tipos de fuentes de radiación artificiales

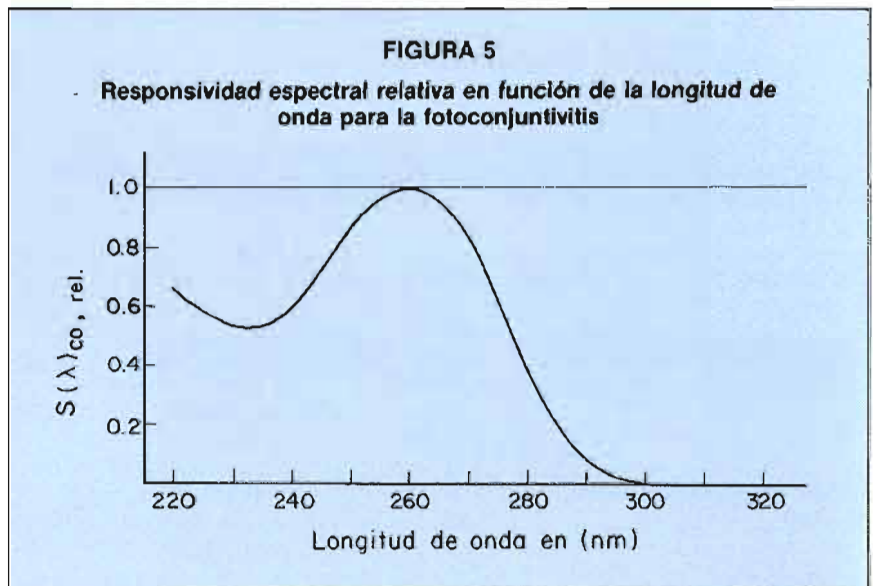
Radiación global	tm.co
Bener 1972	31,7 h.
Dehne/Kaster 1983	12,8 h.
Lámparas fluorescentes a 1.000 lux	
L40W/15 (luz de día)	1.060 h.
L40W/25 (blanco universal)	1.700 h.
136W/21 (blanco neutro)	9.000 h.
Fuentes de radiación UV a 1 m de distancia	
UV-Normal	42 sg.
Ultra-Vitalux	45 min.

absolutamente libre de ellos. Por ello, aquí vamos a distinguir dos efectos distintos, fotoqueratitis para el efecto producido en la córnea y fotoconjuntivitis para el producido en la conjuntiva.

El primero de ellos es una inflamación de la córnea producida por una sobreexposición a la radiación ultravioleta. Los síntomas más destacados son una sensación de «arena en los ojos», seguida de varios grados de fotofobia y secreción de lágrimas. Tardan en aparecer de 6 a 24 horas después de la exposición y pueden durar aproximadamente 48 horas.

El espectro de acción es el que está representado en la figura 4, donde, como se ve, la longitud de onda más eficiente para producirlo es la que corresponde a 288 nm y deja de ser efectiva la radiación de longitudes de onda superiores a 320 nm. Como la radiación natural del Sol que llega a la Tierra, tiene muy poco contenido en esta banda espectral (por la absorción de la capa de ozono), este efecto se produce principalmente por fuentes artificiales de radiación de alto contenido en UV-C; como lámparas de descarga, lámparas de mercurio de alta presión, láseres de UV, etc. Como límite en cuanto a cantidad de energía mínima para que aparezca este efecto, se ha establecido un valor de 100 J/m².

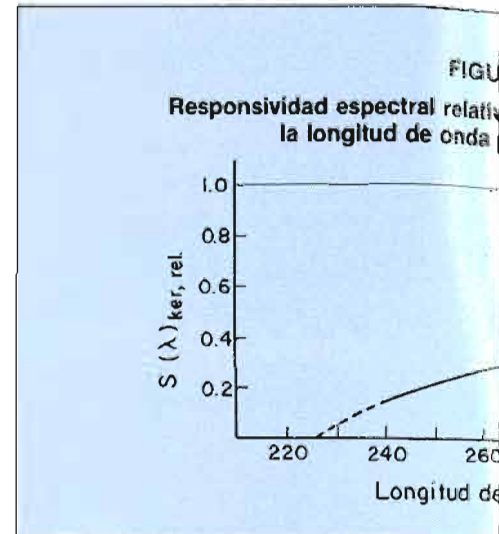
El segundo efecto mencionado, fotoconjuntivitis, es una inflamación de la conjuntiva y se origina, al igual que el anterior, por una sobreexposición a la radiación ultravioleta. Los síntomas tardan en aparecer de 5 a 10 horas después de la exposición y pueden permanecer durante varios días. Su espectro de acción se puede ver representado en la figura 5. Como se ve difiere del anterior, siendo



la longitud de onda más eficiente la de 260 nm y la dosis o valor límite para producir este efecto de 50 J/m².

En cuanto al tipo de fuente de radiación que puede producir este efecto, en la tabla II se pueden ver los resultados de estudios realizados sobre distintas fuentes de radiación óptica que contienen UV, y el tiempo de exposición que sería necesario con cada uno de los tipos de fuente para que se produzca la fotoconjuntivitis.

Hasta hace relativamente poco tiempo, se consideraba que el amarilleamiento progresivo del cristalino (formación de cataratas marrones) formaba parte del proceso de envejecimiento natural del ojo. Sin embargo, recientes investigaciones han demostrado que la absorción continua de radiaciones comprendidas en el rango UV-A, tiene un efecto acumulativo sobre el núcleo del cristalino que lo vuelve más amarillo y os-

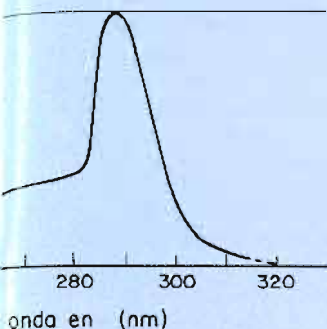


curo. De esta manera, disminuye la agudeza visual y de forma aún más acusada la sensibilidad al contraste, con el peligro de que este proceso degenera en la formación de cataratas marrones.

Las investigaciones realizadas han demostrado que aparece una mayor incidencia de cataratas marrones entre las personas que viven en regiones ecuatoriales y subtropicales, debido a la mayor exposición. No hay que olvidar, sin embargo, la primera consecuencia importante que apuntábamos en este trabajo, en la que se recordará establecimos que para que se produjera un efecto, no era importante si la misma cantidad de fotones se había absorbido en un intervalo de tiempo más o menos largo, por ello, recientes investigaciones realizadas por el Departamento de Oftalmología de la Universidad de Rochester, advierten del efecto acumulativo a lo largo de la vida. Lo que

RA 4

a en función de la longitud de
para la fotoqueratitis



Entre los efectos actínicos que la radiación UV puede producir en el ojo, se encuentran la fotoqueratitis, la fotoconjuntivitis y las cataratas, dependiendo de la parte de la estructura del ojo que absorba la radiación óptica.

loco y producir fantasías.

Este punto está siendo objeto de numerosas investigaciones por la implicación que estas hipótesis tienen en el diseño y construcción de instituciones a gran escala social como prisiones, hospitales, escuelas, etc.

En materia de efectos endocrinos, la luz va más allá del complejo ojo-cerebro, ya que afecta a los sistemas neuroendocrinos y psicológicos. A este respecto son numerosas las investigaciones realizadas, por medio de privaciones parciales de alguna banda espectral a lo largo del rango visible del espectro de radiación óptica. Los experimentos que se han realizado cubren un rango muy amplio, desde estudios de confort visual, datos de satisfacción, preferen-

significa que si los ojos han estado expuestos durante largos períodos de tiempo a radiación UV-A de baja intensidad, el cristalino se afectará de la misma forma que si hubiera estado sometido a una intensidad de radiación mayor, pero durante un período de tiempo más corto.

Finalmente, con respecto a los efectos que las radiaciones producidas por parte de las pantallas catódicas de datos o pantallas de TV, parece que los riesgos de lesiones sobre las estructuras oculares son despreciables, si bien en el caso de los usuarios de pantallas catódicas de datos no podemos olvidar que las numerosas afecciones que a estos trabajadores aquejan, están justificadas por lo monótono y fatigante de su labor, lo que no implica que estos trabajos sean peligrosos para la salud e integridad del aparato visual.

EFFECTOS ACTINICOS SOBRE EL CUERPO COMO UN CONJUNTO

La investigación de los efectos actínicos que la radiación óptica puede producir en el cuerpo como un conjunto son extremadamente complejos, y los resultados que se han publicado a este respecto se basan más bien en estudios epidemiológicos realizados que en experimentos en laboratorios. No obstante lo anterior, se pueden distinguir dos efectos importantes.

- Efectos producidos por la falta de radiación óptica.
- Efectos endocrinos de la luz.

En cuanto a los primeros, es bien conocido que la privación de radiación óptica durante los tres primeros meses de vida, es decir, en el período crítico de la misma, puede ser

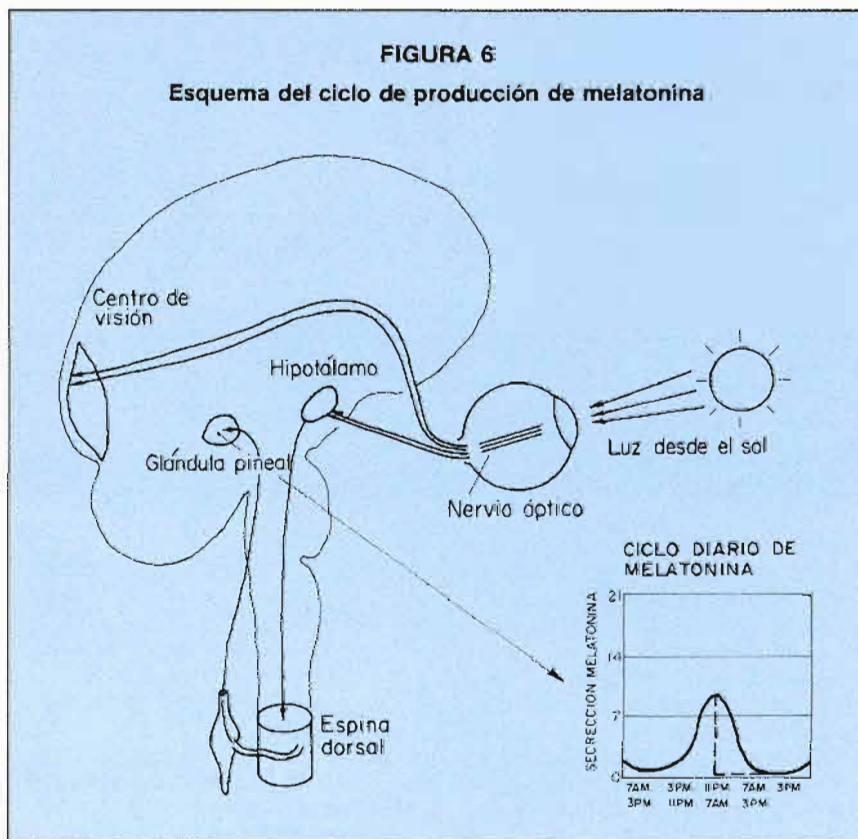


muy perjudicial para el desarrollo del sistema neurosensorial y producir incluso atrofia. Ya vimos que la falta de radiación, y en concreto de radiación ultravioleta, era la responsable en los niños del raquitismo y también puede ser responsable de otras enfermedades. En los adultos puede producir distintos fenómenos de deficiencia, lo que origina irregularidades en la función del sistema nervioso, pudiendo producirse una laguna en el sistema de defensa del organismo y el resultado sería una predisposición a las enfermedades. En la literatura existe un gran número de trabajos en relación con personas que están privadas continuamente de estímulos visuales, como prisioneros, eremitas, etc. Se ha demostrado que estas personas sufren alucinaciones similares a las producidas por el consumo de drogas, ya que parece que en ausencia de estímulo sensorial, el cerebro puede volverse

Entre los efectos actínicos que la radiación óptica puede producir en el cuerpo como conjunto, la falta de desarrollo neurosensorial o incluso atrofia, en los casos de carencia de radiación óptica, y ciertos efectos neuroendocrinos y psicológicos, destacan como más importantes.



FIGURA 6
Esquema del ciclo de producción de melatonina



cias, estados emocionales, hasta funcionamiento psicomotor, actividad muscular, presión sanguínea, productividad, etc.

Veamos en concreto el caso de los ritmos biológicos del organismo. En los últimos años se han publicado algunos trabajos en los que se apunta la hipótesis de que mientras que en los animales los ritmos biológicos siguen dependiendo casi exclusivamente de los ciclos luz-oscuridad, en

el hombre los hábitos sociales han llegado a ser dominantes.

Esto está en contradicción con recientes experimentos hechos sobre la melatonina, hormona de la glándula pineal que regula efectos indirectos de la luz. Se ha demostrado que una luz brillante detiene un gran número de ritmos; no solamente estos ritmos se paran, sino que llegan a un punto asociado con el fin de un período de 12 horas de luz. Cuando

esta luz brillante cesa, los ritmos comienzan de nuevo, como si esto representara el comienzo de luz normal.

En la figura 6 se puede ver el ciclo de producción de melatonina. Cuando la luz del sol incide sobre el ojo humano, los impulsos viajan a través de dos caminos: el centro de visión y el hipotálamo. Del hipotálamo salen mensajes nerviosos que llegan a la médula espinal, salen a través de centros nerviosos en la nuca y van a la glándula pineal, la fuente de la hormona melatonina. En la parte derecha de la figura está representado cómo es el ciclo diario de producción de la melatonina. Como se ve, la producción es más intensa cuando no existe luz, y además, se observa que esta producción cae bruscamente cuando se enciende una luz brillante de golpe.

Conjuntar los dos tipos de resultados nos induce a manifestar que, efectivamente, el hombre se ha adaptado a los hábitos sociales y en particular a la iluminación artificial, pero que todavía permanece sensible al ciclo natural luz-oscuridad.

BIBLIOGRAFIA

- SLINEY, D. y WOLBARSH, M. L.: Safety with lasers and other optical sources. A comprehensive handbook. Plenum Press, New York (1980).
- PARRISH, J. A., ANDERSON, R. P., URBACH, E. and PITTS, D.: UV-A Biological effects of ultraviolet radiation, with emphasis on human responses to long-wave ultraviolet. Plenum Press, New York (1980).
- DUTT, G. C.: Effects of ultraviolet radiation on man. Pub. N° NRCC of the Environmental Secretariat Ottawa, Canadá K1A 0R6 (1978).
- THORINGTON, L.: Actinic effects of light and biological implications. Photochem. Photobiol. 32, 117 (1980).
- ADAMS, J. S., CLEMENS, T. L., PARRISH, J. A. and HOLICK, M. P.: Vitamin-D synthesis and metabolism after UV-irradiation of normal and Vitamin-D deficient subjects. New England J. of Med. 306, 722 (1982).
- ASCHOFF, J.: A survey on biological rhythms-In: Handbook of behav. Neurobiol. Vol. 4, J. Aschoff Ed. P. 3, Plenum Publ. Co. (1981).
- BERGER, D. S. and URBACH, F.: A climatology of sunburning ultraviolet radiation. Photochemis. Photobiol. 35, 187 (1982).
- SLINEY, D. H.: Optical radiation safety Lighting Res. Technol. 14 (3), 142 (1982).
- ZIGMAN, S.: Recent research on near UV radiation and the eye. In Proc. Workshop on UV-A. F. Urbach Ed. Phila, P. A. June 1984.
- Report of TC 8-03. Photokeratitis. CIE Journal. Vol. 5, n.º 1, 24 (1986).