

# Efectos lesivos potenciales de la luz de polimerización sobre el órgano de la visión

LUIS ANTONIO ARIAS MONTOYA \*

**PALABRAS CLAVES:** *Luz halógena o visible, Daño ocular, Protección ocular.*

## RESUMEN

Debido a la nocividad de la luz ultravioleta sobre la piel y la visión, las resinas compuestas polimerizables por luz ultravioleta se utilizaron, desde el principio, con cierta precaución hacia los posibles efectos secundarios e incluso muchos odontólogos no consideraban segura su utilización. Por ello las resinas polimerizables por luz halógena tuvieron gran aceptación, porque el mismo nombre con que se designa, luz visible, lleva implícita la ausencia de riesgos, ya que nadie pensaría ni por un momento que la luz visible pudiese ser perjudicial.

En esta revisión bibliográfica se presenta la anatomía ocular, la naturaleza de la luz, la fisiología de la visión, efectos de la luz de polimerización sobre ésta y las distintas propuestas que existen para la protección ocular, lo mismo que los antecedentes de la investigación sobre el daño ocular. Con esto se busca dar un campanazo de alerta para que a los conocidos riesgos del consultorio como los rayos X, el mercurio, las malas posiciones del operador; no se sume el daño ocular por un uso indebido de las lámparas de luz halógena y se prevenga esto, tanto para el operador como para el paciente.

## EL ORGANISMO DE LA VISION

El de la vista es el más importante de los sentidos, dado que es el que permite con mayor facilidad la relación con el mundo exterior. Así mismo, a través de este sentido recibimos gran cantidad de estímulos por ser la fuente de aprendizaje de los conocimientos que poseemos.

El ojo, como todos los sentidos, posee un órgano receptor, unas vías transmisoras de los impulsos, los nervios ópticos y un órgano integrador de los estímulos recibidos que permiten al cerebro conocerlos como tales.

Puesto que el ojo es el principal afectado por el incorrecto uso de las fuentes de luz en el consultorio, aquí nos ocuparemos únicamente del órgano receptor o globo ocular.

El globo ocular tiene forma esférica con un diámetro anteroposterior de 25 mms. y transversal de 23.5 mms., pesa de 7.0 a 7.5 gramos y está constituido por una serie de capas superpuestas unas a otras y por unos elementos transparentes en su interior, que permiten el paso de la luz.

**LA ESCLEROTICA:** Es la membrana más externa, de color blanco y consistencia fibrosa, que tiene como función proteger el resto de estructuras oculares. En ella se insertan los músculos motores de ojo. Por su parte anterior se

---

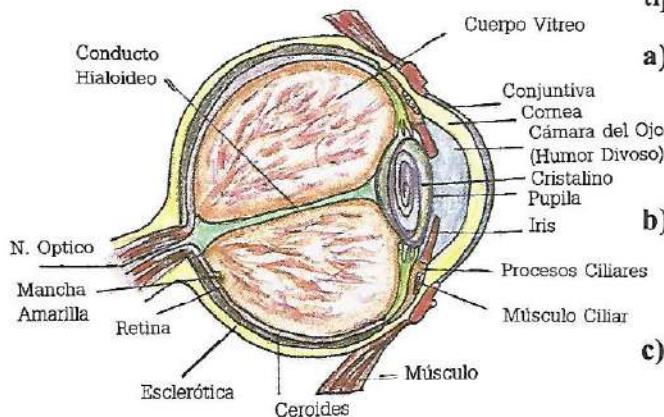
\* Estudiante de X semestre de pregrado  
Facultad de Odontología  
Universidad de Antioquia



continúa con la córnea completamente transparente y está recubierta por una fina membrana igualmente transparente: la conjuntiva.

## FIGURA 1

### EL OJO



**UVEA:** Es la membrana intermedia del globo ocular y por la que discurre gran cantidad de elementos vasculares. Se le puede considerar la membrana nutricia del ojo. A su vez, está formada por tres porciones diferentes.

- a) **IRIS:** Es una membrana coloreada, que se halla detrás de la córnea y delante del cristalino, con un agujero central (pupila) de diámetro variable a modo de diafragma, que permite la entrada de mayor o menor cantidad de luz según las necesidades.
- b) **EL CUERPO CILIAR:** Se extiende desde la base del iris hasta el borde de la coroides. Está formado por el músculo ciliar responsable de la acomodación al modificar, con sus contracciones, la curvatura de cristalino, y por los procesos ciliares, que son repliegues muy vascularizados que segregan líquidos nutricios para los tejidos vecinos.
- c) **LA COROIDES:** Es la parte más posterior de la úvea, situada entre la retina y la esclerótica.

## LA RETINA

Es la membrana verdaderamente importante del globo ocular, ya que en ella se hallan las

células fotosensibles que captan los estímulos luminosos del exterior.

Constituye la capa ocular más interna, es transparente y muy delicada; puede considerarse como una expansión del nervio óptico. Está constituida, a su vez, por nueve capas con tres tipos de células.

- a) **CELULAS FOTOSENSIBLES:** Son las células llamadas, por su forma, conos y bastones. La luz llega después de atravesar las demás capas de la retina y las estimula.
- b) **CELULAS BIPOLARES:** Recogen los estímulos generados en los conos y bastones y los mandan a las células ganglionares.
- c) **CELULAS GANGLIONARES:** Constituyen la capa más interna de la retina, la luz las atraviesa sin impresionarlas en su recorrido hacia las células fotosensibles. Recogen, por un lado, el estímulo proveniente de éstas y por otro lado, emiten unas prolongaciones largas que se van reuniendo, convergiendo finalmente en la llamada papila, punto de inicio del nervio óptico. A través de este nervio todos los estímulos luminosos llegan al cerebro, donde son reconocidos como objeto con formas y colores precisos.

**EL CRISTALINO:** Es una formación transparente, convexa por sus dos caras, que se halla situada perpendicularmente al eje del ojo por detrás del iris, y que actúa a modo de lente convergente.

Su estructura, de consistencia semi-rígida, permite que sus curvaturas se modifiquen con la contracción y la relajación del músculo ciliar. Esta capacidad se conoce como proceso de acomodación, o dicho de otra manera, enfoque correcto de los objetos según la distancia a que se hallen.

En el cristalino, y por múltiples motivos, (edad, diabetes, ciertos fármacos, etc.) es frecuente que aparezcan opacidades que dificulten en mayor o menor grado la visión. Es la enfermedad llamada "cataratas" cuyo único tratamiento efectivo es la



intervención quirúrgica y la extirpación del cristalino, procediendo posteriormente a la recuperación del poder dióptrico mediante gafas adecuadas o lentes de contacto.

**LA CORNEA:** Es la membrana anterior del ojo, continuación de la esclerótica, de la que se diferencia por ser totalmente transparente y por tener una curvatura más pronunciada. Superficialmente está recubierta por la conjuntiva, membrana fina y transparente que cubre, además, la esclerótica y las caras interiores de ambos párpados.

También en la córnea son frecuentes las opacidades y se deben a múltiples causas (infecciosas, traumáticas, metabólicas). No obstante, hay que comentar una particularidad notable de la córnea: su trasplante suele dar *unos excelentes resultados, tanto por permitir una buena visión, como por no manifestar tendencia al fenómeno del rechazo.*

**EL HUMOR ACUOSO:** Es un líquido de aspecto semejante al agua, que se segrega en el cuerpo ciliar y es vertido en la cámara posterior del ojo. De ésta, a través del orificio pupilar, pasa a la cámara anterior y es reabsorbido en la unión del iris y la córnea.

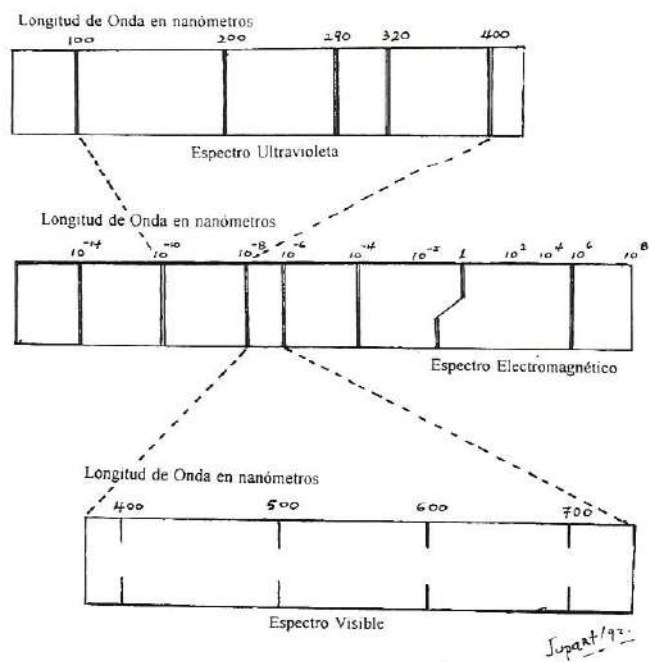
**EL HUMOR VITREO:** Sustancia igualmente transparente pero de aspecto gelatinoso, parecida a la clara de huevo. Ocupa toda la parte posterior del globo ocular, entre el cristalino y la retina.

## NATURALEZA DE LA LUZ

La luz es una energía radiante con propiedades electromagnéticas y longitudes de onda cuantificables (Fig. 2) que varían entre 0.001 angstroms y 30.000 mts., aunque el ojo humano sólo percibe aquéllas que se encuentran en el espectro visible (380-780 nanómetros -nm-) e interpreta esas longitudes de onda como colores. Al considerar los efectos lesivos que la luz puede producir en el ojo, hay que tener en cuenta también los márgenes de longitudes de onda no visible limítrofes con el espectro visible, es decir, los rayos ultravioleta (por encima de 400 nm.) y los infrarrojo (mayor

de 780 nm.). Los rayos ultravioleta son invisibles para el ojo humano y pueden subdividirse en tres grupos: 1) UVC (ultravioleta C): incluye longitudes de onda que, inferiores a 260 nm., se filtran eficazmente por medio de la capa protectora de ozono que rodea la tierra; sin esta protección la vida en el planeta sería imposible; 2) UVB: comprende las longitudes de onda entre 286 y 320 nm. y son responsables del bronceado, y 3) UVA: abarca las longitudes de onda entre 320 y 400 nm.

**FIGURA 2**



*Espectro electromagnético en el que se aprecia el espectro total, además de las secciones expandidas de los márgenes de luz ultravioleta y visible. (Modificada de Pitts, D. G.; Threat of ultraviolet radiation to the eye how to protect against it. J. Am. Optom. Assoc. 52, 949, 1981). (Jordan y Cols, 1987).*

La córnea humana absorbe la radiación U.V. por debajo de los 300 nm. (porción inferior de los UVB.), mientras que el cristalino humano hace lo propio con la radiación por debajo de los 400 nm. (UVA). La energía superior a 400 nm., se convierte en espectro visible y es transmitida a la retina.

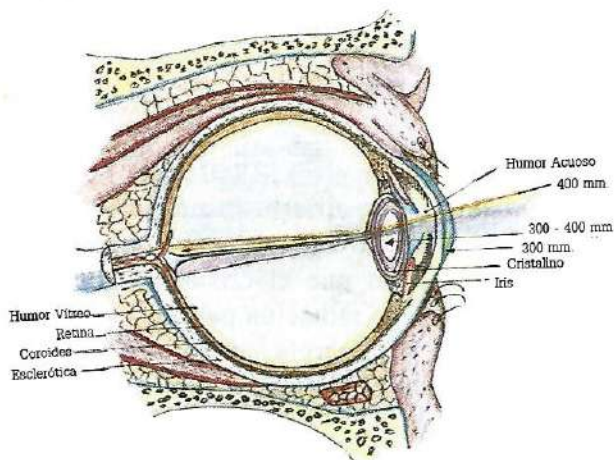


## FISIOLOGIA DE LA VISION Y EFECTOS DE LA LUZ DE POLIMERIZACION

Varias partes del ojo actúan como filtros naturales. La córnea es irradiada en primer lugar y filtra algunas longitudes de onda de radiación incidente (menor de 300 nm.), el resto de la luz penetra en el humor acuoso. El iris, el cristalino y el humor vítreo, absorben cada uno de ellos la luz según sus características espectrales. La córnea y el cristalino son los principales filtros, y una cantidad progresivamente decreciente de radiación penetra en la retina, todas las estructuras del ojo antes citadas, pueden ser lesionadas por los rayos U.V., pero la retina, que en ocasiones se ve afectada por la radiación U.V., rara vez se expone a ella. Por el contrario, los rayos visibles e infrarrojos alcanzan la retina casi sin atenuación y por lo tanto pueden ser peligrosos (Sliney y Wolborsht, 1980), al parecer la observación directa de esta última forma de radiación (como se ve con el vidrio derretido, metal fundido, las lámparas de arco voltaico y las lámparas de infrarrojos) produce cataratas (Sukeelder, 1972), así como lesiones coroidales y retinianas (Sliney y Wolborsht, 1980; Lanum, 1978; Guerry y Cols., 1982).

### FIGURA 3

*El ojo humano se ha seccionado para ilustrar su exposición a distintas longitudes de onda del espectro electromagnético. La córnea absorbe los rayos de 300 nm., mientras que el cristalino absorbe los rayos entre 300 y 400 nm. Por lo tanto, la retina se expone a rayos lumínicos de 400 nm.*



El ojo humano se desarrolló durante miles de años de evolución y está adaptado a la luz que se encuentra en las selvas en que vivían los hombres primitivos. La mayor parte de esa luz estaba en el rango de los amarillos y verdes que aún constituyen la longitud de onda más apropiada para el ojo humano.

El fraguado por la luz visible se activa por acción de una banda muy estrecha de luz de alta energía, la luz azul tiene un papel muy distinto al del resto de las formas de luz visible y constituye una de las formas de onda menos esenciales para la visión. La sensibilidad de la retina a la luz azul (el rango comprendido entre 440 y 450 nm.) quizá tenga mayores efectos en el caso de las fuentes ópticas fabricadas por el hombre que en el de la luz solar. La tendencia es hacia las fuentes, incluso más brillantes, en el extremo azul del espectro. Son ejemplos de éstas las fuertes lámparas de arco de xenón y de mercurio de alta presión, la luz natural y las luces de polimerización de uso odontológico.

La mancha amarilla en el área central de la retina, actúa como filtro y absorbe las longitudes de onda corta de la luz, por lo tanto no las enfoca, lo que sí hace con las longitudes de onda más largas que reflejan los objetos; la luz, además, como las otras longitudes de onda cortas, está sujeta al fenómeno de dispersión por las moléculas del medio en que se transmite. Esto puede reducir la agudeza de la visión y ocasionar en los sujetos de edad la visión borrosa, debido a la mayor incidencia de partículas flotantes en el ojo.

Las lámparas de polimerización actuales emiten una luz azul de alta energía, que produce el fraguado de las canforoquinonas de las resinas compuestas formando radicales libres, que comienzan la reacción de polimerización de la resina. Se ha demostrado, en múltiples estudios, que la luz azul resulta dañina para la retina en el ojo del mono, y recientemente se ha explicado también el mecanismo por el cual se produce el daño retinal (W. Ham. CER. VOL. 3:1, 1984). Estos autores afirman que la luz azul forma en el ojo radicales libres reactivos, al igual que en las resinas, que reaccionan con el agua de las células dando como resultado la formación de peróxidos

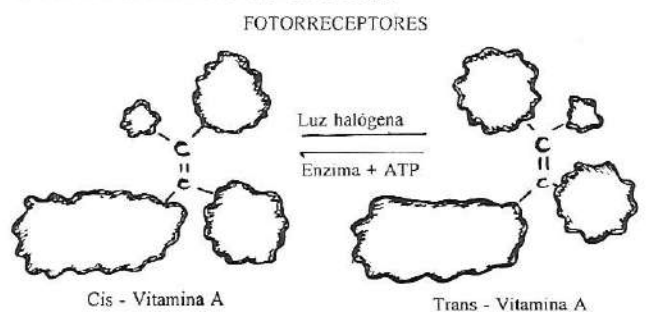


en las células visuales de la retina. Estos peróxidos son muy reactivos y ocasionan la desnaturalización de los muy delicados fotorreceptores del ojo. Los resultados son muy nocivos para la visión y se estima que la luz azul es 33 veces más dañina para los fotorreceptores de la retina que la luz UV.

Se piensa, incluso, que pequeñas dosis de luz azul son igualmente peligrosas, debido a que el proceso visual es extremadamente delicado, ya que al igual que la química del fraguado del compuesto, el mecanismo bioquímico de la visión también utiliza dobles enlaces de carbono. Los fotorreceptores del ojo humano parecen depender de la rotación de un doble enlace de carbono de una molécula de vitamina A, en una posición inestable cis de alta energía. Cuando un fotón de luz choca contra este doble enlace, la vitamina A cambia a una posición trans de baja energía y se provoca el proceso de la visión. La vitamina A recupera su posición cis consumiendo ATP y queda nuevamente en disposición de reaccionar con la luz. Es probable, también, que pequeñas cantidades de luz azul puedan destruir estos delicados fotorreceptores, convirtiendo los dobles enlaces de alta energía en radicales libres.

#### FIGURA 4

*Ilustración gráfica hipotética del mecanismo de la visión, tal y como se relaciona con la presencia de dobles enlaces de carbono.*



*Jupart/92*

### ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION SOBRE EL DAÑO OCULAR

La profesión odontológica ha tardado años en constatar que esta luz de probados efectos nocivos

es la misma que emiten las actuales lámparas halógenas de polimerización. La mayor parte de la investigación en este campo se ha llevado a cabo en monos rhesus que constituyen un modelo experimental excelente, ya que sus ojos son muy similares a los ojos de los humanos. No hay que olvidar que los resultados experimentales que se obtienen de los monos rhesus son de mucho peso entre la profesión médica.

Muchos factores biológicos del organismo, y parámetros físicos de la luz agresora, influyen sobre la lesión fótica de la retina, así, aunque la exposición de la retina humana a la luz brillante pueda provocar su lesión, hay que considerar varios factores de complicación (derivados en gran medida de trabajos realizados en animales) (Lanum, 1978; Tso y Woodford, 1983). Entre ellos se destacan la susceptibilidad de las distintas partes de la retina, su adaptación a la oscuridad, la temperatura corporal, la pigmentación, la edad, la diferencia por especies, el estado motivacional, las diferentes longitudes de onda, la tasa de irradiación, la exposición continua o intermitente a la luz y el hecho de que al paciente se le hayan extirpado o no las cataratas. Zigman y Vaugh, fueron dos de los primeros en investigar los efectos de la luz sobre la visión (Invest. Opth., 13 (1974) 462). En sus trabajos sometieron series de ratones a radiaciones de luz UV. y observaron un adelgazamiento de los fotorreceptores luego de diez semanas de exposición. Después de 16 semanas se observaba una pérdida acentuada de fotorreceptores y la destrucción continuaba, hasta que a las 87 semanas todos los fotorreceptores habían desaparecido.

Sperling y cols. (Sperling y cols., 1972, 1980; Noel y cols., 1966) han demostrado que las sesiones diarias de exposición intermitente a la luz azul moderadamente intensa de banda estrecha (463 nm.), ocasionan una pérdida irreversible de sensibilidad al color azul.

La exposición a la luz verde de banda estrecha da lugar a una pérdida de la sensibilidad al color verde, que tarda en recuperarse varios días. Así, la exposición a la luz azul elimina la respuesta de los conos sensibles a ese color, mientras que la luz verde sólo tiene un efecto temporal sobre los



conos sensibles al color verde. Parece que una absorción selectiva de energía por los fotopigmentos da inicio a una serie de reacciones que, si continúan durante un tiempo suficientemente largo, pueden lesionar permanentemente los fotorreceptores (Lanum, 1978).

En 1978, Zuclick y Taboada (Appl., Optics, Vol. 17, 1978, 1982) sometieron una serie de monos rhesus a radiaciones de luz de 325 nm. y encontraron que el daño retinal se producía con menos exposición de la necesaria para dañar la córnea o el cristalino.

La longitud de onda de la luz que polimeriza el compuesto está en el rango de 468 a 480 nm., y este rango es uno de los más dañinos para los ojos. Este estudio del doctor Ham demostró que se podían producir quemaduras retinales en los rhesus tras exposiciones a la luz inferiores a un segundo, las quemaduras aumentaban su gravedad a medida que se incrementaba el tiempo de exposición.

A este tipo de daño ocular se le ha denominado retinitis solar. Las quemaduras retinales aparecían 48 horas después de la exposición a la luz y cicatrizaban en 20 ó 30 días.

Las áreas cicatrizales se convertían en un tejido degenerativo irrecuperable que histológicamente tenía la apariencia de una degeneración macular senil. En otras palabras, la exposición a la luz envejece rápidamente las células de la retina. W. Ham y H. Mueller han demostrado que este daño producido en la retina es irreparable (AJO, 93 (1982), 299-306), ya que los conos fotorreceptores de la retina dañados no pueden regenerarse.

Hasta tanto que las quemaduras retinales no cicatrizan, la inflamación resultante afecta la capacidad de los monos rhesus para llevar a cabo tareas visuales.

Se considera que el límite mínimo por debajo del cual ya se produce un daño grave, es de 510 nm. (W. Ham, comunicación personal). La longitud de onda más corta, las esenciales para polimerizar las resinas compuestas son exponencialmente más peligrosas que las longitudes de onda más largas, por ejemplo, la longitud de

onda más dañina, 441 nm., es 2.5 veces más peligrosa que la longitud de 488 nm.

En otro estudio, Harwort y Sperling, demostraron que ante una exposición prolongada a muy bajos niveles de la luz azul (463 nm., la misma longitud de onda que se utiliza para polimerizar las resinas) se producía una ceguera azul permanente en los monos rhesus (R. Blankenan, 1983).

El tiempo medio de cicatrización de un daño producido por la luz azul es de 30 días; si durante este período se produce una exposición adicional a la luz azul, el daño que se produce es también muy profundo. Griess y Blankenstein (Invest. Oph., Vol. 20 (1981) 803) demostraron que exposiciones repetidas a muy bajos niveles de luz producen en el mono rhesus una afectación retinal acumulativa.

Observaron, además, que el efecto acumulativo resultante de exposiciones múltiples, cuando el intervalo entre ellos era de un día, era el 91% mayor que las exposiciones únicas.

Por eso puede ser muy peligroso someter el ojo humano a exposiciones repetidas e incluso a bajos niveles de luz azul y deben evitarse a toda costa.

Cuanto más joven es el ojo, más profundo es el daño que produce la luz. Por ello, los profesionales deben poner cuidado en evitar que los niños miren fijamente estas lámparas durante el tratamiento, ya que podría producirse un daño profundo y para toda la vida.

## PROTECCION OCULAR

En la mayoría de las situaciones clínicas, la luz azul que entra en contacto con el ojo es una luz reflejada. Muchos clínicos piensan que la luz azul reflejada es mucho menos peligrosa para el ojo, pero en todo caso se recomienda utilizar una protección ocular.

La mejor protección consistiría en evitar por completo mirar a la luz de polimerización o cubrir la zona con un objeto oscuro. Algunos clínicos



cubren la zona de polimerización con su mano pero se desconocen los posibles efectos de la luz azul sobre la piel.

Un método simple y efectivo para proteger los ojos de esta luz es cubrirla durante el trabajo con la cara reflectante de un espejo bucal, de manera que el exceso de luz azul se refleja nuevamente hacia la zona de polimerización, mejorando el fraguado. Si esto no fuera posible, puede utilizarse una servilleta para cubrir los campos operatorios mayores, y por el reflejo a través de la servilleta se percibe si la luz funciona o no.

En caso de que fuera necesario mirar hacia la parte de la lámpara para mantener su posición, lo mejor es utilizar una protección directa. Por desgracia, la mayoría de las gafas graduadas y los lentes de contacto transmiten la luz azul y la radiación UV. con muy poca atenuación. En cambio hay unos lentes que parece que protegen los ojos de estas luces dañinas, con una efectividad de bloqueo de la luz azul del 99%, no obstante, como todos los lentes contienen tintes orgánicos, es posible que se decoloren con el tiempo y pierdan parte de su efectividad.

De todas maneras, si se utiliza una protección ocular, debe recordarse que ningún lente ha probado ser protector en un 100%. Las lámparas de polimerización deben utilizarse con cuidado, y, aunque se disponga de sistemas protectores, debe, en todo caso, evitarse la visión o el contacto ocular con esas luces.

En CRA Newsletter (Vol. 9 Issue 1) se publican los resultados de un estudio sobre distintas gafas protectoras de la clínica Research

Associates, presentando como protectores efectivos los siguientes: Color Lens de Kulzer, Guardián de Bufalo Dental, Percepción Lens de la Caulk, Pro-tect de Pro Dent, Protective Glasser de la Healthco, Ray Bloq de Earl Parker Associates y Dent-mat y Safety Bond de Accardi.

También se presentan como efectivos algunos escudos protectores manuales: Cure-Shield de la Espe Premier Sales Corp. (para protección del profesional y su ayudante de toda luz ultravioleta y visible hasta 500 nm.), Red-Guard de Red Guard Co. y Roscoline num. 817 de Rosco Products; este último es una hoja de plástico entintado que puede recortarse y fabricarse un escudo protector a gusto propio.

Igualmente hay disponibles en el mercado los siguientes productos: Irex Lenses de la Imperial Optical Co. (reflejan toda la luz ultravioleta y la infrarroja), Orolite y Ultravioleta 400 de la Optical Radiation Corp. (absorben la luz ultravioleta hasta 400 nm.). Liteshield 500 de Dioptrics Professional Products (protege de toda luz ultravioleta y visible hasta 500 nm.), CPF 511 de la Corning Glass Works (filtra toda la luz ultravioleta y visible por debajo de 511 nm.) y CPF 527, CPF 550 de Corning Glass Works que son filtros recomendados para pacientes con degeneración macular, albinismo o retinitis pigmentosa.

Debe recordarse, por último, que si se utilizan estos lentes protectores, tras quitárselos se necesitan de dos a seis minutos para recuperar la percepción normal del color, y este hecho puede afectar la habilidad del operador para juzgar los resultados estéticos iniciales de la restauración.

## BIBLIOGRAFIA

Edissa Ltda. *Enciclopedia de Anatomía y Atlas del Cuerpo Humano*, 1986, pp 43-47, Edissa Ltda., Bogotá D.C.

L. Testut y A. Latarjet. *Compendio de Anatomía Descriptiva* 1983, p. 531, Salvat, Barcelona - España.

Jordan, Ronald E. y Cols. *Composites en Odontología Estética*, 1987, Salvat, Barcelona - España.

Albert, Harry F. *Odontología Estética, Selección y Colocación de Materiales* 1988, Editorial Labor S.A. Barcelona - España.