

EFFECTES DE LA LLUM ARTIFICIAL EN LA VISIÓ



www.areaoftalmologica.com



Jesús Marín, OD
Dr. Jorge Casal
Dr. Carlos Vergés

Àrea Oftalmològica Avanzada
C/ Dalmases, 42
08017 Barcelona
Telf: 93.551.33.00

17/03/2011

INTRODUCCIÓ ANATÒMICA

L'ull humà es tracta d'un òrgan sensible a la llum que ha aconseguit un alt grau d'especialització, podent diferenciar molts matisos com el colors, els contrastos o diferents graus de nitidesa i borrositat.

El procés visual és un procés tan sensorial com motor, que ens permet interpretar la informació de tot el món que ens envolta. En aquest procés podem diferenciar tres etapes. La primera es tracta d'una etapa física en la que la llum que es reflectida per un objecte penetra al nostre ull i una vegada dintre, travessa les diferents estructures transparents (còrnia, humor aquós, cristal·lí i humor vitri) fins a focalitzar-se a la retina. A la segona etapa, aquest estímul lluminós que s'ha rebut es transforma en impuls nerviós i es dirigeix a través del nervi òptic fins el lòbul occipital del cervell. A la tercera etapa s'interpreta l'impuls nerviós que s'havia rebut.

Per aconseguir tot aquest procés visual bàsic, és necessari que l'anatomia de l'ull i les seves estructures annexes es desenvolupin perfectament des de la infància i no existeixi cap alteració que dificulti el procés de maduració del sistema visual.

L'anatomia ocular està formada per diferents estructures oculars:

- ✓ Globus ocular
- ✓ Òrbita
- ✓ Pàrpelles
- ✓ Conjuntiva
- ✓ Aparell Llagrimall
- ✓ Músculs Extrínsecs

Cadascuna d'aquestes estructures està formada per diferents components, però només ens centrarem en aquelles que poden tenir més rellevància quan entra la llum dintre de l'ull, ja sigui perquè serveixen de filtre o perquè siguin estructures més sensibles als efectes d'aquesta llum. Per aquest motiu, dintre del globus ocular destacarem quatre components:

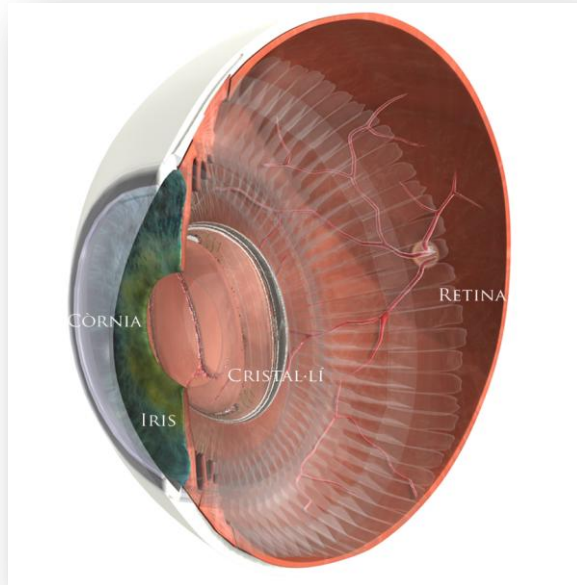
- ✓ La còrnia
- ✓ El iris
- ✓ El cristal·lí
- ✓ La retina

La *còrnia* es troba situada a la part anterior de l'ull per davant de l'iris. Presenta una funció òptica (refractant la llum que la penetra per poder enfocar-se a la retina) i una funció de protecció. Per la part anterior està en contacte amb la pel·lícula llagrimal i limita amb les pàrpelles, mentre que per la part interna es troba hidratada i nodrida per l'humor aquós existent a la càmera anterior.

Està composta per cinc capes, de les quals destaquem la capa més gruixuda, denominada estroma corneal i que representa el 90% del gruix corneal total i la capa més interna,

l'endoteli, a on es troben unes cèl·lules amb poca capacitat de regeneració però de gran importància pel manteniment d'aquesta estructura corneal. La disposició regular de les fibrilles, de les cèl·lules de totes les capes i el fet que sigui una estructura avascular permet que sigui transparent.

La còrnia és el primer filtre natural de l'ull, ja que absorbeix la llum amb una longitud d'ona aproximadament inferior als 295 nm, com per exemple part de la radiació ultraviolada.



El *iris* es troba per darrera de la còrnia i està format per cèl·lules pigmentades i cèl·lules musculars que delimiten una apertura central coneguda com pupil·la. La dilatació d'aquesta pupil·la (midriasi) o contracció (miosi) serà portada a terme per l'acció del múscul dilatador del iris i per l'esfínter del iris, controlant i regulant així la quantitat de llum que entra a l'ull.

El *cristal·lí* és el segon dioptri o lent de l'ull. Es tracta d'una lent biconvexa que és transparent, sense vascularització ni nervis. Es troba limitat anteriorment per l'iris (sense entrar en contacte) i posteriorment amb l'humor aquós. Mitjançant els filaments de la zònula de Zinn que l'uneixen al múscul ciliar i gràcies a l'elasticitat del cristal·lí, som capaços d'enfocar a diferents distàncies. A mida que passen els anys, aquesta estructura va perdent elasticitat i transparència, donant lloc a la presbícia i a les cataractes senils.

El cristal·lí també és el segon filtre natural de l'ull, ja que absorbeix les longituds d'ona entre 320 i 400 nm, protegint la retina de la radiació en l'ultraviolat proper. També protegeix parcialment la retina de la llum blava, tot i que també és necessària per al correcte funcionament del sistema visual i d'altres cicles fisiològics. Aquest filtre no té la mateixa eficàcia al llarg de tota la vida, ja que els ulls més joves tenen una transmissió més alta per les longituds d'ona curtes. Amb l'edat, augmenta el nombre de cromòfors del cristal·lí, incrementant el seu poder d'absorció i, amb això, la protecció de la retina contra la radiació UV. Per contra, la possibilitat de reaccions fotoquímiques en el cristal·lí per l'efecte d'aquesta llum augmenta, augmentant la probabilitat de patir cataractes.

La *retina* està situada recobrint la part més interna del globus ocular i s'encarrega de rebre l'estímul lluminós del medi exterior, transformant-lo en un impuls nerviós perquè després sigui

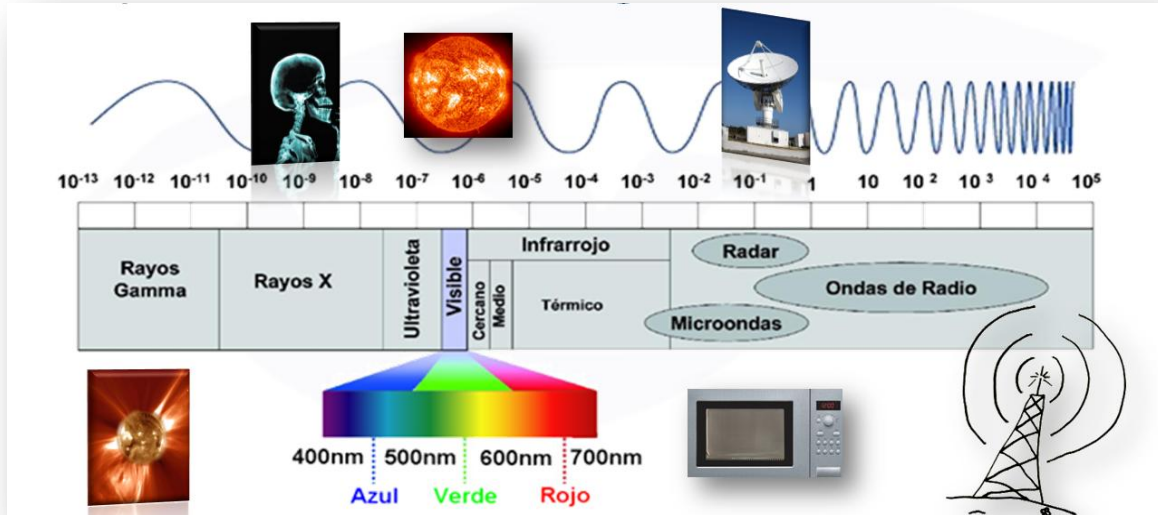
transmès a la zona occipital del cervell per ser interpretat. Consta de 10 capes, de entre les que destacarem la capa dels *fotoreceptors* i la capa de l'*epiteli pigmentari de la retina*.

Existeixen dos tipus de fotoreceptors, els cons i els bastons. Els primers s'encarreguen de la discriminació més fina i del color. Els bastons són més sensibles a la percepció de llum i per tant són els que més utilitzem en condicions escotòpiques (visió nocturna). Quan la llum impacta sobre el fotopigment dels fotoreceptors, s'inicia una cadena de reaccions químiques que provoquen que en l'epiteli pigmentari de la retina es transformi aquest estímul en un impuls nerviós.

Entre les funcions de l'epiteli pigmentari de la retina trobem la de regenerar els fotopigments i la de fagocitar o eliminar el material de desfet. Part d'aquest material, no pot ser eliminat completament i s'acumula en forma de lipofucsina a la retina. Aquest acúmulo de material va en augment a mida que passen els anys i pot arribar a afectar a les funcions de l'epiteli pigmentari. Aquesta funció d'eliminar aquest material pot alterar-se per la toxicitat llumínica i per les reaccions químiques del metabolisme de l'oxigen.

RISCOS DE LA LLUM

La llum que veiem és del Sol o és llum artificial, com la que prové d'una bombeta. La llum visible es troba entre els 400 i els 700 nm i només és una part de tot l'espectre electromagnètic.



El dany més important que pot produir la llum incident sobre els nostres ulls es localitza a la retina. Els possibles danys que pot provocar la llum que va des de els 400nm als 1400nm es poden classificar en tres tipus:

- Estructurals: causats principalment per determinades radiacions de làser.
- Tèrmics: causats per exposicions breus (segons o inclús menors) que produeixen increments de temperatura en el teixit de 10 a 20°C per sobre de la temperatura ambient.
- Fotoquímics: causats principalment per la radiació de longitud d'ona més curta a nivells d'intensitat massa petits com per causar danys tèrmics. Es pot produir quan existeix un temps d'exposició més llarg i baixa la intensitat a nivells baixos, fent que l'augment de temperatura sigui menyspreable. És molt dependent de la longitud d'ona ja que s'incrementa molt en la zona blava de l'espectre.

S'ha vist que el dany fotoquímic pot ser el causant d'algunes retinopaties associades a l'exposició solar en entorns molt lluminosos, com esquiar o navegar o pilotar avions. Això ja havia estat descrit en diferents estudis de fa anys i per això es recomana prudència i una adequada protecció en determinades situacions de més risc.

Existeixen opinions contradictòries sobre la relació entre l'exposició a la llum visible de longitud d'ona curta i la radiació UV i les lesions oculars en humans. Per un costat les evidències epidemiològiques en ocasions no són suficients o es consideren limitades. Per l'altre banda trobem estudis realitzats en laboratori que documenten les lesions induïdes per radiació i que indiquen que no es pot deixar de banda el potencial de la radiació UV i de la llum de longitud d'ona curta. És possible que aquesta diferència d'opinions estigui justificada per una gran variabilitat de condicions que separen l'estudi de laboratori i l'evidència

epidemiològica, amb factors que influeixen com les condicions d'exposició, l'estil de vida, la nutrició o els antecedents genètics.

Molts experiments de laboratoris realitzats amb animals, tenen com a objectiu trobar les causes de la degeneració macular associada a l'edat i diversos estudis han coincidit que la llum blava (que trobem tant a la llum natural com a l'artificial) pot ser nociva per la retina.

Per una altra banda, la llum blava també és fonamental en el processament visual i en d'altres aspectes fisiològics importants com els ritmes circadians. Totes les espècies del planeta presenten un gran nombre de cicles biològics que es repeteixen aproximadament cada 24 hores, coneguts com ritmes circadians i mantenen una relació important amb el rellotge intern del cervell. Alguns exemples poden ser la reposició d'ADN en les cèl·lules individuals o el cicle son/vigília.

El primer estímul que rep el sistema circadià humà i el de molts altres mamífers és el format per la llum incident a la retina. Sembla que els principals fotoreceptors que es troben al inici d'aquest circuit tenen el seu màxim de sensibilitat espectral en $\lambda=460-480\text{nm}$ (blau/cian).

S'ha vist en estudis que l'exposició a la llum durant la nit, sense respectar un temps de foscor, sobretot si la llum és rica en blaus, suprimeix la secreció de melatonina. Aquesta hormona influeix en molts aspectes fisiològics com regular el cicle son – vigília, i juga un paper significatiu en el sistema immunitari. En l'altre extrem d'aquesta relació entre la llum blava i diferents funcions fisiològiques, hi podem sentir o llegir propostes de teràpies i tractaments basats en l'exposició a llum blava per millorar símptomes depressius o fins i tot problemes de son.

En condicions de poca il·luminació (condicions escotòpiques) els bastons són els més sensibles a la llum i són els que principalment utilitzem a la visió nocturna dels humans. El fet que aquests tipus de fotoreceptors són més sensibles a les longituds d'ona blaves, i el fet que l'objectiu que es persegueix es poder veure en aquestes condicions, ens ha portat a la creença que la llum blava és la més efectiva per baixa il·luminació i en conseqüència, ens ha portat a la creença que l'enllumenat exterior hauria d'utilitzar llums amb alt contingut en blau. Tot i així, encara existeix la incertesa en condicions mesòpiques d'il·luminació o en situacions reals, influint molts aspectes com el diàmetre pupil·lar de cada individu, els canvis bruscos d'il·luminació o els temps d'adaptació.

Avantatges llum blava	Desavantatges llum blava
Millor sensibilitat dels bastons en condicions escotòpiques, per tant millor visibilitat nocturna	Necessari més temps d'adaptació al canviar de visió fotòpica a visió escotòpica
Evidències epidemiològiques controvertides	Possible toxicitat sobre retina en estudis laboratoris
Relació directa i necessària en els ritmes circadians i en diferents funcions fisiològiques, tant de forma positiva com a negativa si hi ha una sobreexposició.	

LEDS I VISIÓ

Des de la primera bombeta inventada fins a l'actualitat s'ha produït una evolució significativa en el sistema de llum. En tota aquesta evolució hem conegut molts tipus de làmpares i cadascuna tenia, té i tindrà les seves avantatges i els seus inconvenients.

Les incandescents eren econòmiques i la llum tenia un color càlid però tenien molt poca eficàcia (només al voltant d'un 15% de l'energia consumida era traduïda en llum visible.)

Amb les llums halògenes, el vidre era substituït per un compost de quarç i per tant suportava millor el calor i produïa una major eficiència i una llum més blanca. Però com aspecte negatiu, també es deia que podien emetre més radiacions de llum ultraviolada que les bombetes de filament.

Les làmpares de baix consum milloren l'eficàcia (consumeixen menys i poden durar més). Pel costat negatiu es deia que contenia mercuri i podia ser tòxic, es deia que la vida útil disminuïa molt al encendre i apagar moltes vegades, es deia que tenien un alt consum inicial, tenien un tamany més gran, es creia que la llum que donava no era tan càlida....

I ara arribem a la il·luminació amb sistemes LED.... I també tindrem coses bones i coses no tan bones, aspectes que segur que s'aniran perfeccionant en un futur immediat. En general, l'enllumenat exterior està experimentant un canvi substancial cap a l'augment de l'ús de fonts de llum blanca, accelerat pel desenvolupament de la il·luminació amb LEDs.

El *baix consum i l'elevada eficiència* mostrada pels sistemes LEDs, juntament amb un teòric menor manteniment, una major durabilitat i una millor direccionalitat, han col·locat aquests sistemes a l'avantguarda de la tecnologia, jugant un rol prou important a la política d'energia. Aquesta tecnologia està creixent a una velocitat vertiginosa i això ens obliga a treballar ràpidament per aprendre d'elles, valorar-les per les seves virtuts i millorar-les en els seus defectes.

Al igual que totes les fonts lluminoses que hem viscut, també tenen aspectes que ens poden generar dubtes en un primer moment. Dos dels aspectes que s'han comentat són l'alta intensitat lluminosa i una major proporció de llum blava.

L'alta intensitat lluminosa que proporciona ens pot permetre una millor visibilitat, i ens permet utilitzar menys potència o energia per aconseguir la mateixa il·luminació que amb els sistemes anteriors o fins i tot superior. Per una altra banda, si hi ha una sobreexposició, si mirem fixament a l'estímul lluminós o si l'apropem a una distància inferior a 20cm, pot provocar enlluernament i per tant incomoditat. Però si fem el mateix amb les altres fonts de llum que coneixem, ja sigui amb el Sol o amb un fanal, passant per un focus d'un estadi o per la bombeta d'una llanterna, també notarem en major o menor mesura aquest discomfort o enlluernament.

Ja hem comentat la necessitat de la llum blava per un correcte procés visual i determinades funcions fisiològiques, però també hem vist alguns dels seus possibles riscos amb un ús

inadequat. La llum blava forma part de l'espectre de la llum visible i es troba en totes les fonts lluminoses, en major o menor proporció, però hi ha persones que poden ser més sensibles als seus efectes:

- Població infantil, perquè el cristal·lí encara no filtra eficaçment la llum.
- Població més sensible a la llum, com pacients afàquics (sense cristal·lí), pacients pseudofàquics (amb lent intraocular) o pacients amb determinades alteracions retinianes com la degeneració macular associada a l'edat.
- Població particularment exposada a aquest tipus d'il·luminació, com instal·ladors elèctrics.

De la mateixa manera que sempre s'ha aconsellat una major prudència i protecció en situacions naturals que comporten una major exposició a la llum, com activitats a la neu, activitats al mar o professions com pilots d'aviació, també aquestes poblacions han de mantenir aquest principi de prudència i protecció, evitant un mal ús.

Existeixen normatives que controlen, regulen i aconsellen els límits d'exposició per la radiació de les diferents fonts d'il·luminació i les classifiquen segons el risc. Aquesta normativa, s'actualitza periòdicament i marca part de les línies de disseny i fabricació per les companyies relacionades en aquest sector des de fa molts anys.

Tots i els avantatges evidents d'aquest canvi de tipus d'il·luminació, existeix una discussió documentada en relació als possibles riscos que tenen en comparació amb els sistemes d'il·luminació de sodi d'alta pressió utilitzades majoritàriament fins a l'actualitat. Però això no ha de generar alarmes socials i sí que ha de servir per continuar madurant i perfeccionant un sistema que pot aportar-nos molts beneficis.

A l'octubre de 2010, la "French Agency for Food, Environment and Occupational Health & Safety (ANSES)" va publicar un informe d'aproximadament 300 fulls (<http://www.anses.fr/Documents/AP2008sa0408.pdf>) a on comentava algunes avantatges i els possibles riscos d'aquests sistemes d'il·luminació. També comentava recomanacions per seguir millorant en el disseny, en la fabricació, en la seguretat, en la normativa que envolta a aquesta tecnologia i en la informació que arriba a l'usuari i als treballadors habituals.

Al novembre de 2010, CELMA (Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union) publica un informe (<http://www.syndicat-eclairage.com/upload/declarations/67.pdf>) en relació al realitzat per ANSES poques setmanes abans. En aquest informe es remarca que en condicions normals d'ús, els LEDs no presenten cap risc particular per la salut i que compleixen amb la normativa europea existent. També mostren el seu acord amb algunes de les opinions expressades per ANSES, sempre seguint una línia de treball dintre d'un marc de rigor i seguretat.

A la web de ANSES també disposen de un apartat a on es responen vuit preguntes freqüents entre els usuaris en referència als LEDs (<http://www.anses.fr/ET/PPN06CD.htm?pageid=2766&parentid=265&ongletId=5336#contenu>). Un exemple és una pregunta sobre les televisions LED, amb la resposta que no són nocives per l'ull.

CONCLUSIONS

- ✓ La il·luminació amb LED suposa un gran avanç principalment per la seva eficiència i el seu baix consum. D'altres avantatges són un teòric menor manteniment, una major durabilitat i una millor direccionalitat.
- ✓ L'ull humà presenta filtres naturals per determinades longituds d'ona, com és la còrnia (filtra aprox <300nm) i el cristal·lí (filtra aprox entre 320-400nm i part de la llum blava). L'estructura ocular més sensible als riscos de qualsevol llum és la retina.
- ✓ Els principals riscos són l'enlluernament i els riscos propis de la llum blava. Per disminuir l'enlluernament s'aconsella no mirar fixament la font de llum o no acostar-la a menys de 20cm de l'ull, consells vàlids per qualsevol font d'il·luminació.
- ✓ Els nens, els afàquics, els pseudofàquics i els professionals relacionats són els més sensibles als riscos de la llum blava.
- ✓ La llum blava també és necessària en diferents funcions visuals i del cos.
- ✓ NO s'ha de generar alarmes socials.
- ✓ CELMA (Federation of National Manufacturers Associations for Luminaires and Electrotechnical Components for Luminaires in the European Union) confirma que la tecnologia LED compleix amb la normativa europea actual i que amb un correcte ús no suposa cap risc particular per la salut.
- ✓ Aquesta tecnologia continua millorant i evolucionant ràpidament, sempre intentant seguir una línia de treball dintre d'un marc de rigor i seguretat. Dintre d'aquestes millores, s'aconsella tenir una informació clara per l'usuari i actualitzar quan sigui necessari la normativa en referència a les noves fonts de llum.