



---

**Universidad de Valladolid**

FACULTAD DE CIENCIAS

# Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

## Efectos de la luz azul en el ritmo circadiano del sueño

Presentado por: Coral Millán Arroyo  
Tutelado por: Cristina Beatriz Martínez Matesanz  
Tipo de TFG: Revisión

En Valladolid a 25 de mayo de 2016

# ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	2
2. ANATOMÍA DEL OJO Y VÍAS DEL PROCESO VISUAL.....	3
3. EL SISTEMA CIRCADIANO HUMANO.....	6
3.1. RELOJ ENDÓGENO. MARCAPASOS CIRCADIANO.....	6
3.2. RUTA DEL SISTEMA CIRCADIANO. LAS CÉLULAS GANGLIONARES DE LA RETINA INTRÍNSECAMENTE FOTOSENSIBLES.....	6
4. LAS RADIACIONES EN EL OJO HUMANO .....	10
4.1. TIPOS DE RADIACIONES.....	10
4.2. RADIACIONES Y DAÑOS FOTOTÓXICOS.....	11
4.3. LA LUZ AZUL. EVIDENCIA FOTOTÓXICA.....	11
5. INFLUENCIA DE LA LUZ AZUL EN EL CICLO DEL SUEÑO .....	13
5.1. EL PAPEL DE LA MELATONINA .....	13
5.2. LA LUZ AZUL EN PERÍODOS NOCTURNOS. CRONINTERRUPCIÓN.....	14
6. FILTROS ARTIFICIALES DE BLOQUEO DE LA LUZ FOTOTÓXICA DENTRO DEL ESPECTRO VISIBLE.....	16
6.1. CLASIFICACIONES DE LOS TIPOS DE FILTROS.....	16
6.2. FILTROS DE LUZ AZUL. EXPERIMENTACIÓN.....	16
6.3. TIPOS DE FILTROS PARA BLOQUEO DE LA LUZ AZUL EN LENTES OFTÁLMICAS.....	17
7. ESTUDIO DEL USO DE LOS FILTROS DE LUZ AZUL .....	18
8. CONCLUSIONES.....	20
9. BIBLIOGRAFÍA.....	21

## 1. Introducción.

Hoy en día los dispositivos electrónicos guían nuestra vida, desde el momento en el que nos levantamos hasta que nos acostamos. Este tipo de dispositivos que usamos cotidianamente cuentan con diodos retroiluminados emisores de luz LED, tales como los televisores, las tablets y los teléfonos móviles smartphones. Aunque la luz emitida por la mayoría de los LEDs aparece blanca, presentan un pico de emisión en el rango de luz azul (400-490 nm), por eso se la conoce a este tipo de luz principalmente como luz azul.

Desde que los primeros signos de vida aparecieron en la Tierra, los seres vivos han desarrollado unos ritmos de vida que se guían por los cambios lumínicos del sol y estacionales terrestres<sup>1</sup>. Estos cambios han ido garantizando su propia supervivencia y se han creado de forma natural unos relojes circadianos que oscilan alrededor de las 24 horas del día, coordinando las funciones fisiológicas de los seres vivos con el entorno en el que viven<sup>2, 3</sup>. El control de estos relojes circadianos<sup>5</sup> lo lleva a cabo una hormona llamada melatonina, que se secreta en la sangre y se considera un marcador de ritmo circadiano, aumentando sus niveles durante la noche para garantizar el sueño y disminuyendo estos valores durante el día.

En las sociedades modernas avanzadas los dispositivos LED han pasado a ocupar un lugar tan importante que suponen nuestra principal fuente de luz ya que tienen unas características de emisión únicas<sup>6</sup>. Hemos dejado a un lado la luz natural y la hemos sustituido por una luz artificial que usamos a horas muy impredecibles lo que ha originado un desplazamiento de nuestro ciclo natural luz-oscuridad. El abuso de la luz artificial en períodos correspondientes con oscuridad natural, acarrea unas consecuencias para nuestro organismo que desincronizan el ritmo circadiano de la secreción de la melatonina, disminuyendo sus niveles durante la noche. Numerosos estudios han relacionado, además, estas interrupciones en los ciclos con numerosos síndromes y enfermedades en incluso con un aumento del riesgo de padecer varios tipos de cáncer como el de mama, próstata y colorrectal<sup>3</sup>.

Con todo lo expuesto es relevante un estudio en esta línea y que contribuya a la mejora de la salud no sólo visual sino de otro tipo como se ha dicho anteriormente, por lo que resulta interesante informarse acerca de los daños concretos que se producen en nuestro organismo cuando esta luz azul llega a nuestros ojos. De esta forma, este trabajo pretende hacer una revisión bibliográfica en la que se resumen los conocimientos actuales sobre los efectos de la luz azul sobre la regulación de las funciones fisiológicas y los posibles efectos de la exposición a este tipo de luz sobre la salud ocular. Además se tratará la teoría acerca de la luz que emiten los dispositivos LED y la posibilidad de usarse para tratar el ritmo circadiano del sueño.

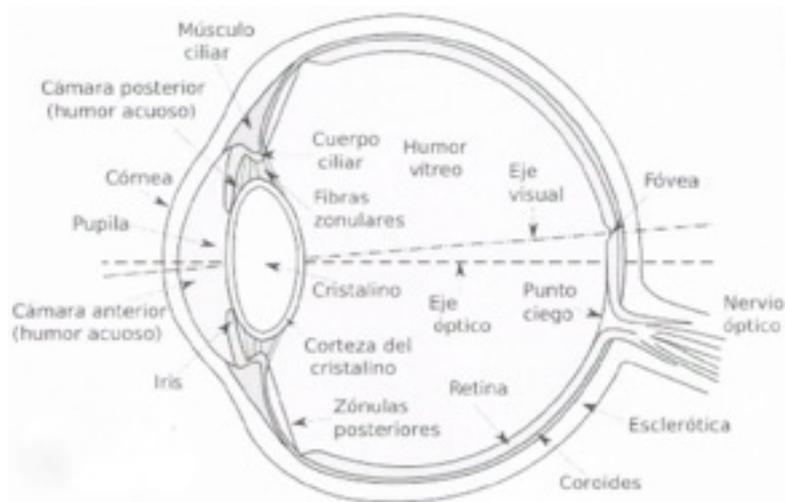
## **2. Anatomía del ojo y de la retina.**

El ojo, también llamado globo ocular, es una estructura de forma esférica de 2,5cm de diámetro. Todos los elementos que distinguimos dentro del ojo son necesarios e imprescindibles para lograr formar una imagen clara y nítida en nuestro cerebro y por lo tanto, perder llevar a cabo la función de la visión. Empezaremos explicando todas sus partes desde el exterior del ojo hasta la capa más profunda.

La esclerótica es la parte más externa del globo ocular y forma la cubierta de la mayor parte de la superficie ocular prolongándose hasta la córnea, una capa totalmente avascular y por lo tanto transparente, característica fundamental para que pueda entrar la luz y lleve a cabo sus funciones correctamente. Posterior a la córnea se encuentra la cámara posterior llena del humor acuoso y finalmente el cristalino, una lente transparente capaz de cambiar de forma. Para que conseguir imágenes nítidas, es necesario el enfoque del ojo, que lo lleva a cabo el cristalino mediante el proceso de acomodación cambiando la curvatura de la lente

La capa media o coroides es una capa muy vascularizada y que consta de varias partes bastante diferenciadas: el cuerpo ciliar y los procesos ciliares, los ligamentos suspensorios y el iris. El cuerpo ciliar se trata de una continuación de la coroides y está formado por unas fibras musculares y por los procesos ciliares que sostienen el cristalino en su sitio correcto unidos a su cápsula. El iris se encuentra suspendido entre la córnea y el cristalino formando una abertura en su parte central en forma de círculo llamada pupila que actúa como un diafragma que controla la cantidad de luz que entra al ojo variando su tamaño gracias a los músculos que la rodean. La contracción de la pupila se puede originar por distintos procesos tales como cuando una luz intensa que penetra en el ojo, protegiendo de esta forma a la retina de daños fototóxicos bruscos. Los músculos del iris, también están íntimamente relacionados con la pupila y tienen un papel muy importante a la hora de formar imágenes nítidas ya que parte del mecanismo de acomodación que lleva a cabo el cristalino, consiste en la contracción de las fibras del iris, que contraen a su vez la pupila.

Todas las partes del ojo explicadas en este apartado vienen representadas en la figura 1.



*Figura 1. Anatomía del ojo humano*

La última capa, la más interna del ojo, es la retina que es la parte del ojo fotosensible a la luz. Las capas que constituyen la retina son diez y están ubicadas en forma paralela desde la parte más externa del globo ocular hacia el interior y están unidas a la coroides por la membrana de Bruch. Las capas de la retina son las siguientes: la capa del EPR (Epitelio Pigmentario de la Retina), capa de los FR (fotorreceptores) formados por bastones y conos, membrana limitante externa, capa nuclear externa, capa plexiforme externa, capa nuclear interna, capa plexiforme interna, capa de células ganglionares, capa de las fibras del NO (nervio óptico), y la MLI (membrana limitante interna)<sup>35,37</sup>.

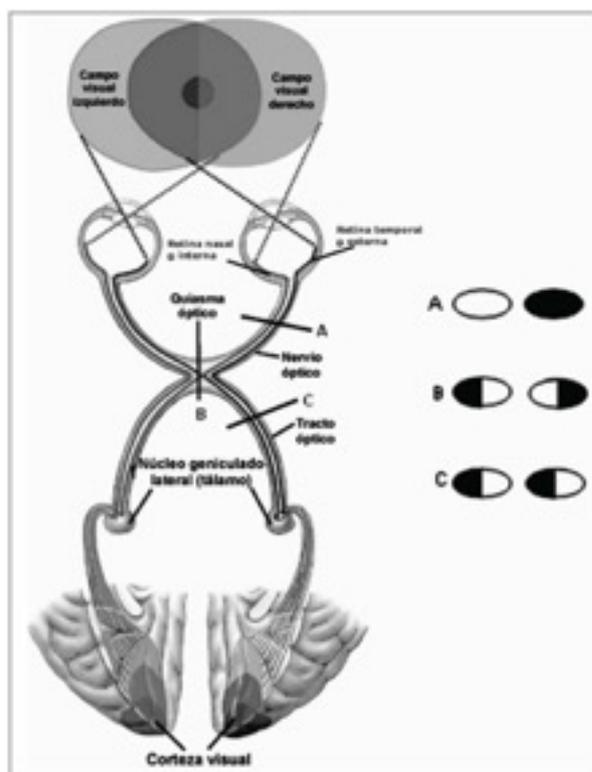
Además, la retina está formada por varias capas de neuronas: FR, horizontales, bipolares, amacrinas y ganglionares. Los FR de la retina humana son los bastones y los conos, unas neuronas que se estimulan cuando los rayos luminosos llegan a ellas e inician el procesamiento visual<sup>37</sup>.

El ojo humano tiene una media de 120.000.000 bastones repartidos por toda la cornea. El pigmento fotosensible de los bastones es la rodopsina y tiene su sensibilidad máxima en los 500 nm. Los bastones nos proporcionan así la visión nocturna<sup>8,35</sup>.

El número total de conos en el ojo humano es aproximadamente de 6.200.000. Podemos diferenciar tres tipos dependiendo de su coeficiente de sensibilidad espectral máximo: conos sensibles a longitudes de onda larga(L), media(M) y corta(S). Los conos se concentran casi totalitariamente en la parte central de la retina llamada mácula, y poseen tres tipos de pigmentos visuales sensibles a la luz azul (434 nm), verde (534 nm) y roja (564 nm)<sup>8,37</sup>.

Las neuronas bipolares hacen sinapsis conectando los FR con las neuronas ganglionares, cuyos axones se distribuyen hacia el disco óptico ocular (DO) en la parte más interna del globo permitiendo salir a las fibras del NO del globo ocular. Estas fibras del NO son las encargadas de llevar la información percibida por la retina al cerebro.

Cuando un haz de luz llega a la retina, la luz del campo visual derecho estimula la mitad izquierda de cada retina y la luz del campo visual izquierdo estimula la mitad derecha. Los nervios ópticos abandonan el ojo y convergen en una zona llamada Quiasma Óptico. En él se cruzan las fibras del NO de la mitad interna de cada retina, de esta misma manera, las fibras del NO de la mitad izquierda de cada retina se proyectan hacia el lóbulo occipital izquierdo y las fibras ópticas de la mitad derecha de cada retina se proyecta hacia el lóbulo occipital derecho. La mayor parte de los axones se prolongan y conectan con las células del NGL (Núcleo Geniculado Lateral) y el resto lo hace hacia el folículo superior<sup>7, 35</sup>.



*Figura 3. Ruta de las vías visuales*

Los axones de las células retinianas hacen sinapsis con las células del NGL de una forma simple y organizada. El NGL es el principal centro sensorial de la visión y está constituido por un haz de células ubicadas en el tálamo. Posteriormente estos axones abandonan el NGL y se abren en un grupo de fibras llamadas radiaciones ópticas que hacen sinapsis en la corteza visual primaria y de ahí hacia la corteza visual secundaria (V1,V2,V3,V4 y V5). Todo este proceso visual está representado en la Figura 3<sup>7, 35, 38</sup>.

### **3. El sistema circadiano humano.**

#### **3.1. El reloj endógeno. Marcapasos circadiano.**

El sistema circadiano está regulado por una red organizada de estructuras muy especializadas que se encargan de la generación de los ritmos que regulan nuestras etapas de sueño. Los ritmos pueden clasificarse como ritmos circadianos (con una frecuencia próxima a un ciclo por día, entre 20 y 28 horas), ultradianos (con una frecuencia mayor a un ciclo por día, es decir menos de 20 horas) e infradianos (cuyos ritmos presentan una frecuencia inferior a la diaria, es decir, presentando períodos de más de 28 horas)<sup>3, 5</sup>.

El ritmo del sueño y la vigilia está programado genéticamente en animales que cuentan con unas condiciones de oscuridad y temperatura constantes y cuenta con una frecuencia de ciclo alrededor de las 24 horas manifestando un ritmo intrínseco, es decir, que puede variar según distintas especies pero principalmente está en torno a las 24 horas, por lo que lo denominamos ritmo circadiano<sup>5, 11</sup>.

Para que se produzca un buen ritmo, es necesaria la presencia de un reloj endógeno circadiano o marcapasos circadiano. En los mamíferos, este reloj se sitúa en el hipotálamo, más concretamente en el Núcleo Supraquiasmático (NSQ). Es considerado como el núcleo general de conducción de información a otras áreas del cerebro y otros tejidos mediante el envío de señales neuronales y humorales<sup>3,36</sup> (Figura 4). Una de estas señales de las que hablamos es la liberación de la melatonina, que se lleva a cabo en la glándula pineal, y es la responsable de la coordinación de los ritmos circadianos en distintas partes de nuestro organismo.

#### **3.2. Ruta del Sistema Circadiano. Las células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensibles.**

Las células ganglionares de la retina envían la información de la luz a través del NO hasta el NGL y posteriormente a otras regiones implicadas en la formación de la imagen visual. Sin embargo, algunos estudios han concluido que ciertos axones de un grupo de células sin identificar enviaban información de luz “sin imagen” a centros del cerebro relacionados también con el procesamiento visual<sup>38</sup>.

Hasta hace poco se sabía que existían dos tipos de FR, los conos y los bastones<sup>10</sup>, pero en 1923 se encontró un tercer FR que estaba implicado además en el reflejo pupilar a la luz y en otras respuestas visuales con un estímulo de longitud de onda de la luz que no coincidía con el que se estimulaban los bastones y los conos<sup>9</sup>.

Además se supo de casos de cambios en el sistema circadiano y de inhibición de la secreción de melatonina en sujetos ciegos que no contaban con conos ni bastones, por lo que se pensó que debía de existir otro tipo de FR aparte de los conos y bastones con un nuevo fotorpigmento, al que se le llamó melanopsina<sup>4</sup>. Estas células son las ipRGCs: Células ganglionares de la retina intrínsecamente fotosensibles<sup>10, 38</sup>.

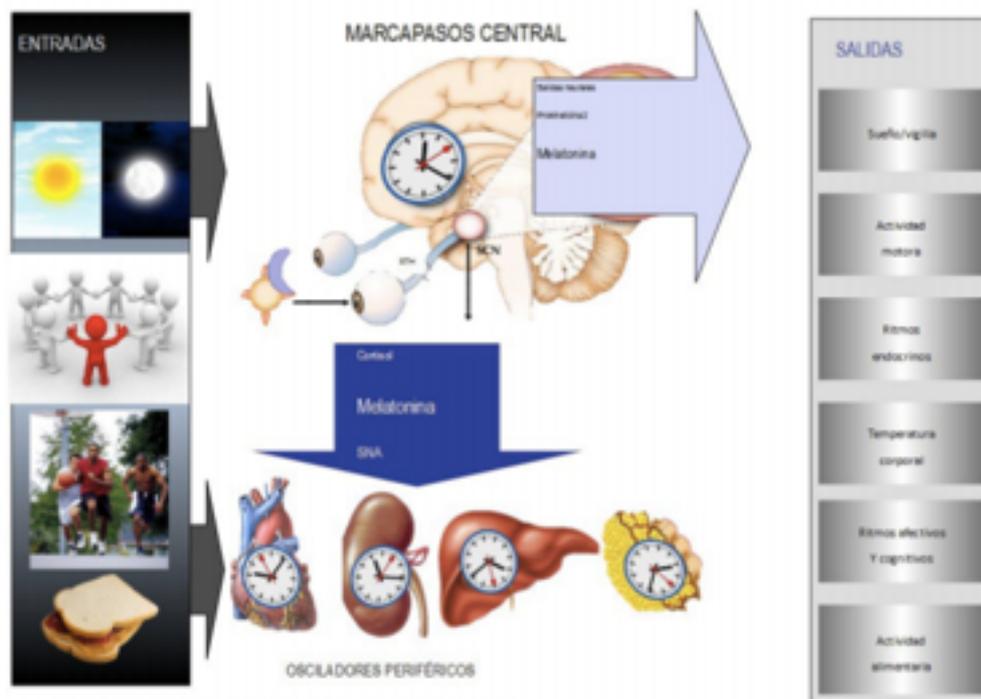


Figura 4. Organización estructural del sistema circadiano humano con el NSQ como el marcapasos principal en el hipotálamo<sup>3</sup>

El espectro de absorción de la melanopsina de las ipRGCs se ha encontrado cerca del pico de 480 nm<sup>11</sup> y respecto a la fototransducción de estas existen algunas diferencias entre los conos y los bastones y las ipRGCs<sup>38</sup>.

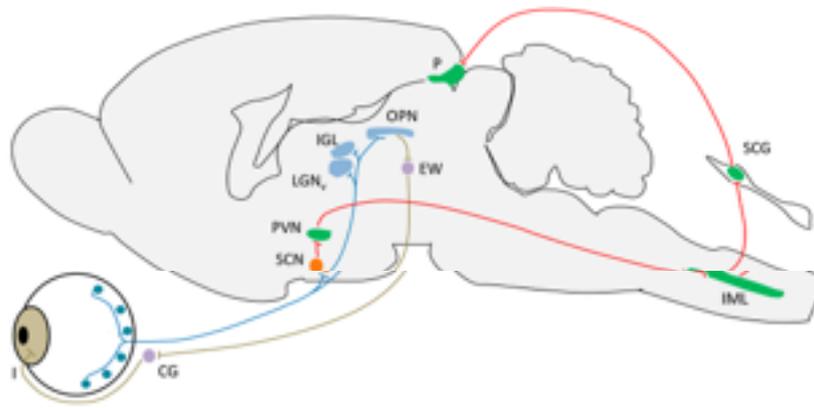
La ruta de las ipRGCs comienza con un fotón que llega a la retina y es captada por las células ganglionares de la retina con un pigmento llamado melanopsina y que les hace intrínsecamente fotosensibles. Se producen una serie de cambios fisiológicos muy concretos que provoca principalmente una afluencia de iones Ca a través de los canales de potencial receptor transitorio, produciendo así una despolarización<sup>12</sup>. La melanopsina es capaz de recuperar de nuevo su conformación activa simplemente mediante la absorción de un segundo fotón de una longitud de onda más larga<sup>13</sup>.

Los axones de las ipRGCs proyectan las señales neuronales y humorales a varias regiones del cerebro. La conexión más importante es la del NSQ a través del camino desde la retina hasta el hipotálamo. Forman parte de la ruta de las ipRGCs los osciladores periféricos los cuales se encuentran en nuestro organismo bajo el control del NSQ. Estos osciladores pueden desincronizarse del ritmo circadiano debido a una mala alimentación, el jet lag o el trabajo por turnos<sup>14, 34</sup>. El NSQ y los osciladores son los responsables del ritmo diario observado en la mayoría de las funciones fisiológicas de comportamiento y a su vez este ritmo proporciona información que puede modificar la función del propio NSQ y de los osciladores periféricos<sup>36, 38</sup>.

La producción de la melatonina se produce cuando el NSQ envía la orden de síntesis hasta la P (glándula pineal): El NSQ proyecta al PVN (núcleo paraventricular), y este a su vez a las neuronas preganglionares de la médula espinal. Posteriormente, las neuronas preganglionares inervan al ganglio cervical superior y este a su vez inerva finalmente a la P y produce, de esta manera, la síntesis de melatonina, de una forma circadiana, es decir, no se almacena sino que se secreta directamente a la sangre atravesando la barrera hematoencefálica en cuanto se sintetiza<sup>15</sup>, lo que hace que los niveles de melatonina que circula por la sangre vayan variando a lo largo del día y sean mayores durante la noche ya que las neuronas postganglionares del ganglio cervical superior están estimulando la síntesis de melatonina en la P cuando hay falta de información lumínica.

Hay constancia de la presencia de este reloj molecular en los mamíferos ya que numerosos estudios apuntan la existencia de vías nerviosas entre el NSQ y el corazón, el hígado, el páncreas, la tiroides y la glándula pineal. Este núcleo es capaz de activar o desactivar diferentes vías dependiendo de la función necesaria a lo largo del día actuando como un conductor<sup>4, 38</sup>.

En el esquema siguiente se detallan las vías de las regiones cerebrales y los circuitos intervalos por las ipRGCs.



*Figura 5. Vista esquemática de regiones cerebrales y de los circuitos intervalos por las ipRGCs.*

La ubicación de los somas y axones de estas células están representados en color azul. La proyección de las ipRGCs al Núcleo supraquiasmático, dibujado en color naranja, permiten el arrastre del reloj circadiano. La ruta roja con núcleo en verde representa el circuito polisináptico originado en el núcleo supraquiasmático que regula la liberación de la melatonina por P a través de la internación simpática. Están conectados sinápticamente el PVN (núcleo paraventricular del hipotálamo), el IML (núcleo intermediolateral de la médula espinal) y el SCG (ganglio cervical superior). La sinapsis de este circuito parasimpático se encuentra en el núcleo de Edinger-Westphal, el ganglio ciliar y los músculos del diafragma<sup>16</sup>.

Las ipRGCs participan en procesos esenciales relacionados con el ritmo circadiano de la siguiente manera:

Enmascaramiento negativo: la luz reduce la locomoción en ratones y mamíferos nocturnos mediante un efecto llamado “masking” negativo y se demuestra que la melanopsina es necesaria para un máximo y una respuesta sostenida. La luz de baja intensidad promueve un “masking” positivo.

Regulación del sueño: la luz diurna promueve el despertar y la oscuridad facilita el sueño gracias a la secreción de melatonina<sup>17</sup>.

Supresión de la melatonina pineal cuando llega un haz de luz: En ratones sin bastones ni conos, se encontró que la supresión de la melatonina era completa bajo una alta intensidad de la luz y que es un proceso que requiere melanopsina. Además, personas ciegas sin conos ni bastones también mostraban una supresión de melatonina con una sensibilidad espectral consistente con la señalización de la melanopsina<sup>18</sup>.

Reflejo de las pupilas a la luz: Permite reducir la saturación de los bastones y los conos y mejora la resolución aumentando la profundidad de campo. Al ser un movimiento muy inmediato es muy fácilmente cuantificable y sabemos que las ipRGCs son necesarias para alcanzar la máxima constricción de pupila durante largo periodo de tiempo<sup>19,38</sup>.

## 4. Las radiaciones en el ojo humano.

### 4.1. Tipos de radiaciones.

Cuando una radiación llega a un organismo, si esta es completamente transmitida o totalmente reflejada no ocasionará ningún efecto dañino sobre este, como por ejemplo, cuando la radiación visible llega al ojo y es absorbida completamente por la retina y nos da una sensación total de visión. El problema ocurre cuando esta transmisión o reflexión no se produce completamente y tenemos que diferenciar entre varios tipos de radiaciones<sup>20,39</sup>.

#### Ionizantes

Este tipo de radiación produce una emisión de partículas cuando llega a una materia viva y se puede inducir daño celular e incluso muerte de estas células dependiendo de los niveles de radiación por una desorganización de las partículas subatómicas. Un ejemplo es la formación de cataratas o daño retiniano por altos niveles de radiación<sup>20, 39</sup>.

#### No-ionizantes

De este tipo de radiación nos limitaremos a hablar de la llamada radiación óptica que incluye la luz UV, el espectro visible y la luz infrarroja, es decir, con longitudes de onda que se encuentran entre los 100 nm y 1 mm. Entre ellas encontramos las radiaciones a las que llamamos de luz visible comprendidas entre 380 y 780 nm<sup>20,39</sup>.

Varios estudios han demostrado que una exposición a luz de longitudes de onda o intensidad específicas puede provocar grandes daños en la retina. Este tipo de daño se llama daño inducido por la luz.

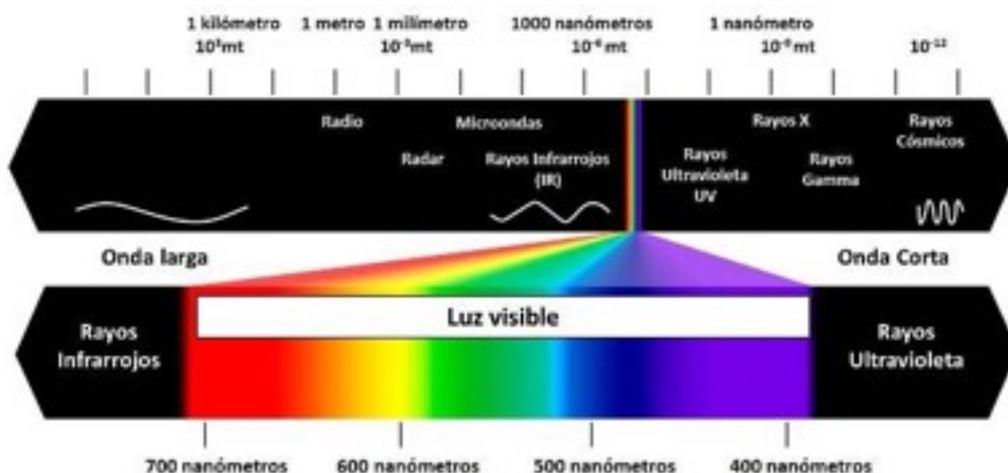


Figura 6. Espectro electromagnético de la luz visible

## **4.2. Radiaciones y daños fototóxicos.**

La luz puede inducir daño a través de tres mecanismos: fotomecánico, fototérmico, y fotoquímico<sup>21</sup>.

El daño fotoquímico es el más común y es el que ocurre cuando los ojos están expuestos a una luz de alta intensidad en el rango visible (380-700 Nm). Cuando un fotón llega a nuestros ojos y produce cambios moleculares tóxicos se produce el llamado daño fotoquímico, ocasionando daños en las células neurosensoriales y del EPR<sup>39</sup>.

## **4.3. La luz azul. Evidencia fototóxica.**

En los últimos años las fuentes de iluminación retroiluminadas se han convertido en la tecnología dominante en los países desarrollados, usados en dispositivos como tablets, ordenadores, iPads y e-books, además de aplicaciones de iluminación LCD grandes como televisiones. Estas fuentes de iluminación irradian luz de longitudes de onda visibles, donde encontramos la luz que denominamos luz azul, con un espectro de emisión entre los 400 y los 490nm<sup>6</sup>.

Varios estudios han indicado que una exposición bastante frecuente a la luz azul puede afectar a muchas de nuestras funciones fisiológicas, y, por lo tanto, puede ser utilizada para tratar disfunciones circadianas y del sueño. Sin embargo, la luz azul también puede inducir daño a la retina y a los FR por lo que es muy importante tener en cuenta la salida espectral de los LED para minimizar los peligros que pueden estar asociados con la exposición de nuestros ojos a la luz azul.

Otros estudios<sup>22</sup> han demostrado también que la luz azul en el rango de 460-480 nm es más eficaz en la fase de cambio del reloj en el ritmo circadiano humano en comparación con luz monocromática de 555 nm. Demostraron que el pico de sensibilidad del marcapasos circadiano humano a la luz es de color azul-desplazado con relación al sistema visual fotópico de los tres tipos de conos y que la sensibilidad a la que se excita es aproximadamente de 555 nm.

Este mismo estudio informó que la exposición a la luz que emiten los lectores electrónicos a la hora de acostarse puede afectar negativamente a la suspensión y el sistema circadiano. Se encontró, también, que el uso de dispositivos emisores de luz inmediatamente antes de acostarse tiene efectos biológicos que pueden facilitar una deficiencia de sueño y alterar los ritmos circadianos, lo cual puede tener efectos adversos sobre el rendimiento, la salud y la seguridad<sup>22</sup>. Se demostró que la luz azul también puede ser usada para tratar los trastornos afectivos estacionales, y las mutaciones en el gen de la melanopsina pueden aumentar la susceptibilidad al desarrollo de trastornos afectivos estacionales. Con la edad, el cristalino se vuelve más amarillento, y

por lo tanto, disminuye drásticamente la transmisión de luz azul. Se sospecha que uno de los motivos de que las personas con cataratas tengan problemas de sueño se deba a la falta de luz azul durante el día<sup>23</sup>. Se demostró además, que después de la extracción de la catarata, la calidad del sueño mejoró drásticamente porque más luz azul podría pasar a través de la lente intraocular.

En relación a la fototoxicidad de a luz azul sobre el ojo y los estudios más importantes podemos destacar uno de los más influyentes y recientes acerca del daño de los dispositivos LED<sup>24</sup>. En el estudio decidieron observar los efectos de la luz azul en la retina usando varios espectros de emisión de estos dispositivos. Se realizó in vitro mediante una irradiación de luz con distintas longitudes de onda sobre varios grupos de células del EPR de humanos dadas en ciclos de 12 horas, es decir, 12 horas con luz y 12 horas en oscuridad, sembrando los periodos terrestres lumínicos.

Los resultados demostraron claramente que la radiación emitida reduce en un 75-99 % la viabilidad celular (proporción de células vivas al final del experimento) y además se produjo un aumento del 66-89% en la muerte celular (apoptosis). Se pudo observar de forma significativa una gran disminución de la población de las células estudiadas<sup>23</sup>.

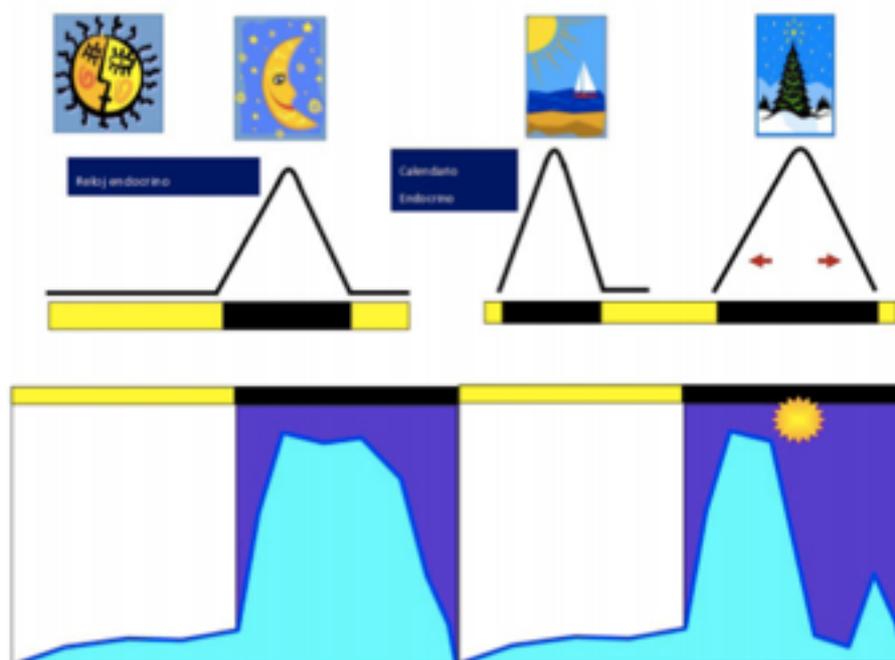
Posteriormente, los mismos autores llevaron a cabo otro estudio<sup>25</sup> en el que introdujeron filtros ópticos para poder bloquear las longitudes de onda correspondientes con la luz azul en el espectro visible y demostrar de esta manera que la viabilidad celular se vería aumentada y por el contrario, disminuiría la apoptosis celular de las células irradiadas y protegidas con filtros. Querían constatar diferencias y los resultados fueron resolutivos: al añadir filtros la apoptosis celular se redujo en un 89% para la luz azul y de un 56% en el caso de luz blanca y además, como se sospechaba, aumentó también la viabilidad celular, por lo que podemos sacar como conclusión, que los filtros de luz protegen nuestra retina de daño fototóxico por luz azul en nuestras células.

## 5. Influencia de la luz en el ciclo del sueño.

### 5.1. El papel de la melatonina en el ciclo del sueño.

Todos los mamíferos regulan sus funciones fisiológicas tales como la temperatura corporal o la síntesis de melatonina en función de ciclos secretorios, que a su vez están regulados por ritmos que dependen de la presencia de luz o de oscuridad. Varias hormonas se sintetizan siguiendo el ritmo circadiano del sueño, que presenta fluctuaciones de manera episódica.<sup>4, 38</sup>

Cuando hay ausencia de luz se está liberando constantemente melatonina<sup>38</sup> y se nos envía unas señales indicativas de que es el momento de dormir. Es nuestro sistema endocrino el que se encarga de hacer un control exhaustivo de las concentraciones de melatonina a primera hora de la noche entorno a las 10pm y es entonces cuando se da lugar un primer pico de liberación de melatonina para incitarnos a dormir. Posteriormente se necesitará otro pico alrededor de las 2am para seguir manteniendo el control del sueño. Para mantener este ritmo de descanso, el hipotálamo envía además ayuda mediante unas señales que disminuyen nuestra  $t^a$  corporal y se facilita así el estado de reposo<sup>4</sup>. Este ciclo se representa en la imagen inferior. (Figura 7)



*Figura 7. Ciclos de secreción nocturna de la melatonina con picos variables dependientes de la hora del día en la que nos encontremos (izquierda) y de la estación del año en la que nos encontremos (derecha).*

Se ha demostrado que además de los ritmos circadianos del sueño, la melatonina regula también varios problemas cardiovasculares y algunos desordenes afectivos<sup>4</sup>. Se le atribuyen además propiedades antiinflamatorias, antihipertensivas y antineoplásicas a través de mecanismos antiangiogénicos, antimitóticos y antioxidantes<sup>38</sup>.

## **5.2. La luz azul en períodos nocturnos. Cronointerrupción.**

En los tiempos actuales tenemos un mayor acceso a la luz durante la noche lo que nos acarrea una desorganización en el sistema circadiano llamada Cronointerrupción, en la que se ve perturbada el ritmo de la melatonina y por lo consiguiente de nuestro ritmo del sueño. Estas desorganizaciones en el ritmo circadiano han sido relacionadas en asociación con una incidencia mayor de la diabetes, de la obesidad, de enfermedades del corazón, envejecimientos prematuros, deterioros cognitivos y perceptivos y algunos tipos de cáncer<sup>26</sup>.

El ciclo amanecer-atardecer ha propiciado una buena regulación del ciclo sueño-vigilia hasta hace unos pocos años, cuando la vida moderna ha traído un aumento de la iluminación artificial tanto en horarios diurnos como nocturnos debido a turnos de trabajo, tiempos de ocio, etc.<sup>34</sup>, desplazando así la vida diaria hacia horas mucho más nocturnas, sobretodo en países desarrollados ya que estos tienen un mayor acceso a las luces artificiales<sup>14</sup>. Teniendo en cuenta que el ser humano pasa la mayor parte de su tiempo en interiores, con niveles muy bajos de luz natural y con fuentes de luz artificial durante largos periodos de tiempo, la concepción que teníamos del ritmo circadiano ha cambiado. La exposición del ser humano a la luz artificial ha sido manipulada por las personas en países desarrollados para adaptarlo a sus necesidades y a su propio ciclo sueño-vigilia, es decir, se ha disminuido la exposición a la luz natural y la intensidad y regularidad de esta, y por otro lado se ha llevado a cabo un aumento de luz artificial durante la noche, consiguiendo llevar de esta manera el espectro de luz hacia fuentes más artificiales con altos componentes azules entorno a los 480 nm debido a la proliferación de la iluminación eficiente por dispositivos LED con pantallas retroiluminadas. Los cambios descritos de entrada de luz en nuestro organismo pueden ser la razón de los problemas de Cronointerrupción que sufren una gran proporción de personas en el mundo<sup>28</sup>.

Se conoce por el término de Cronointerrupción a la interrupción del ritmo del ciclo circadiano del sueño y hace referencia a un deterioro a largo plazo de los ritmos fisiológicos y bioquímicos de nuestro organismo<sup>27</sup>. Desde un punto de vista operativo la Cronointerrupción puede ser definida como la división de los nexos fisiológicos entre tiempos internos y externos<sup>28</sup>.

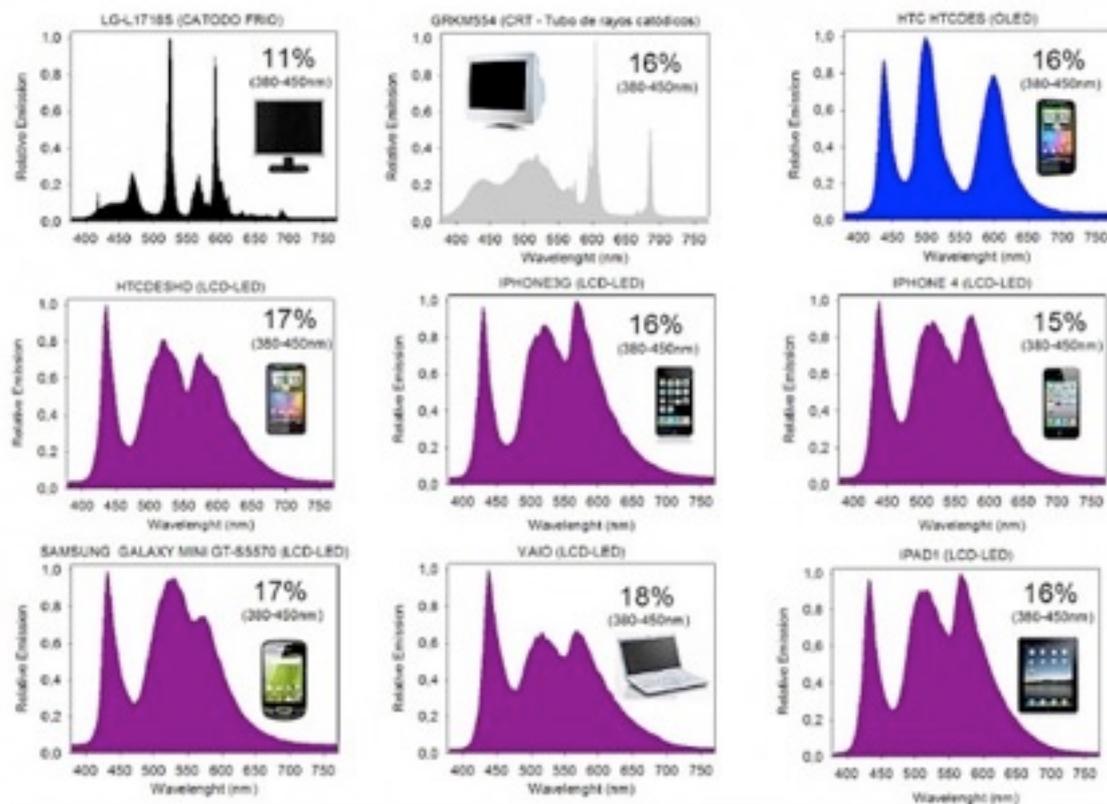


Figura 8. Distintos espectros de emisión de luz de los dispositivos con pantallas catódicas o retroiluminadas LED. Como se ve en la imagen los dispositivos LED tienen una mayor emisión de luz azul que los dispositivos con pantallas catódicas<sup>33</sup>.

Las causas más probables que pueden originar los desajustes en nuestro ritmo circadiano son una distribución inadecuada del espectro y de la intensidad de la entrada de la luz en la retina provocada por actividades nocturnas, además de dormir durante períodos diurnos que llegan a provocar una desestabilización en el NSQ y, por consiguiente, una bajada de los niveles de melatonina<sup>34</sup>. Además de todo esto, se ha encontrado que trabajadores nocturnos con horarios bastante desajustado presentan una mayor deficiencia dentro de su sistema circadiano del sueño y además pueden desarrollar diversos tipos de patologías asociadas con la Cronointerrupción en comparación con gente viviendo en sincronía con luz solar natural<sup>14</sup>.

## **6. Filtros artificiales de bloqueo de la luz fototóxica dentro del espectro visible.**

La luz azul puede proceder de la luz solar (luz natural) o de las luces artificiales, LEDs y pantallas retroiluminadas por lo que debemos proteger nuestros ojos de este tipo de radiaciones. El mecanismo de los filtros de los que hablamos consiste concretamente en el bloqueo de unas longitudes de onda determinadas, en este caso de la luz azul permitiendo a su vez el paso de otras. La función de estos filtros es oscurecer el color complementario del que se quiere bloquear.

### **6.1. Clasificaciones de los tipos de filtros.**

Podemos clasificarlos de multitud de maneras pero la más adecuada para hablar de los filtros de luz azul sobre los que nos centramos en este trabajo es mediante la de filtros atenuadores, filtros interferenciales o filtros de banda, y de absorción, que son de los que se trata en este trabajo puesto que llevan a cabo la absorción de la longitud de onda de la luz dañina para nuestros ojos.

### **6.2. Filtros de luz azul. Experimentación.**

Para comprobar si los filtros selectivos a la luz azul tienen una función protectora para nuestra salud, se llevó a cabo un estudio de experimentación animal que se realizó a conejos procedentes de una reserva biológica ubicada en la UCM (Universidad Complutense de Madrid)<sup>8</sup>. Con él se quiso demostrar que la luz de longitud de onda corta provoca un proceso degenerativo para las neuronas de la retina en el sistema visual y que esta atrofia es menor si se interponen los filtros ópticos que absorban las radiaciones dañinas para nuestras células y se pueda proteger así la retina.

Los resultados del experimento nos demostraron que una alta exposición a una iluminación con longitudes de onda corta, produce una bajada de la cantidad de células tanto ganglionares como nucleares dentro de nuestro sistema visual y que además, se puede dar lugar a apoptosis celular. Los bastones fueron las células que resultaron más dañadas por exposiciones crónicas a este tipo de luz.

Mediante la colocación de filtros que absorban este espectro de luminosidad se demostró que la apoptosis disminuía de forma clara y se llegó a la conclusión de que este corte de longitud de onda corta produce un efecto beneficioso a largo plazo en nuestras células visuales independientemente de la colocación del filtro, tanto en gafa o en lente oftálmica como mediante un filtro colocado en una lente intraocular.

### 6.3. Tipos de filtros para el bloqueo de luz azul en lentes oftálmicas

Si hablamos de los filtros de luz azul más importantes en este momento en el mercado tenemos que detenernos a hablar de tres tipos principales.

El primero de ellos es el Filtro CSR (Certificado de Seguridad Retiniana)<sup>31</sup> calificado como "terapéutico y preventivo frente a la degeneración retiniana", y patentado por la Dra. Celia Sanchez Marcos. Nos ofrecen tres tipos de Lentes CSR, entre los que encontramos las Lentes CSR propiamente dichas (de primer nivel), las Lentes CSR 2a y las Lentes CSR 2b. Las diferencias entre los tres tipos de lentes reside en que cada una de ellas está destinada a un determinado usuario dependiendo de las funciones que vaya a llevar a cabo con las lentes, es decir dependiendo de la intensidad de luz que es necesaria que las lentes absorban. Cuanto mayor sea la función preventiva de la lente tendrá una tonalidad más oscura.

Por otro lado encontramos las lentes Blue Control de Hoya<sup>30</sup> y el Crizal Prevencia de Essilor<sup>29</sup>. En sus informaciones nos garantizan que este tipo de lentes filtran de forma selectiva la luz UV y azul-violeta dejando pasar, a su vez, el resto de luz necesaria para nosotros. Así, según sus datos, este tipo de filtros bloquea un gran tanto por ciento (alrededor de un 20%) de la luz azul que llega a nuestros ojos ayudando así a disminuir la muerte celular que este tipo de luz provoca y proporcionando además un mayor grado de protección frente a la luz UV en comparación con el uso de cualquier otro cristal.

Las diferencias entre los tres tipos de lentes reside en su función gracias al tratamiento antirreflejante de las lentes de Hoya y de Essilor que consigue reflejar hasta el 20% de la luz azul total dejando un reflejo azulado en el cristal de forma residual<sup>30,29</sup>. Las lentes CSR, por el contrario, consiguen el bloqueo de la luz azul mediante un filtro de color con una totalidad amarillenta que se aplica sobre la lente y no por su antirreflejante<sup>31</sup>.

## 7. Estudio del uso de los filtros de luz azul.

Anteriormente ya se han llevado a cabo estudios acerca de los síntomas que ocasiona la luz azul, como el que llevó a cabo el Colegio Oficial de Ópticos Optometristas de Cataluña mediante una encuesta on-line en el que participaron 1.400 personas en la que se preguntaba a los participantes acerca de las horas de utilización de estos dispositivos electrónicos y sus principales síntomas<sup>32, 33</sup>. Como resultado obtuvieron que la mayor parte de los encuestados menores de 30 años admiten pasar hasta 10'5 horas de media al día delante de una pantalla y 3'6 horas usando su smartphone. Como principales síntomas señalaron dolor de cabeza, insomnio, cansancio ocular, estrés visual y ojos rojos e irritados por el uso prolongado de estos.



Figura 9. Gráfico representativo de la encuesta on-line llevada a cabo por el Colegio Oficial de Ópticos Optometristas de Cataluña<sup>33</sup>.

Debido al gran número de personas que utilizan hoy en día pantallas retroiluminadas y los numerosos estudios que evidencian la fototoxicidad de la luz azul se ha llevado a cabo un estudio acerca de las experiencias de un grupo de 202 personas sobre algunos aspectos de los filtros de protección a la luz azul. Este estudio se ha llevado a cabo mediante una encuesta online con el fin de establecer una relación acerca del uso de pantallas retroiluminadas y el efecto de esa luz azul en nuestra salud, concretamente en el ciclo del sueño-vigilia, además de los posibles síntomas que pueden ocasionar la luz azul de los dispositivos que utilizamos cotidianamente.

Las preguntas de la encuesta fueron:

Edad de los encuestados

¿Eres usuario habitual de dispositivos electrónicos con pantallas LED?

¿Cuántas horas al día usas esos dispositivos?

¿Usas filtros de protección para esos dispositivos?

¿Sueles usar esos dispositivos en el momento justo antes de acostarte?

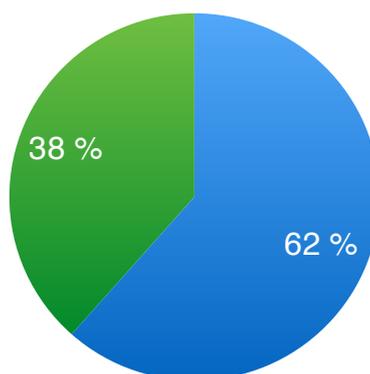
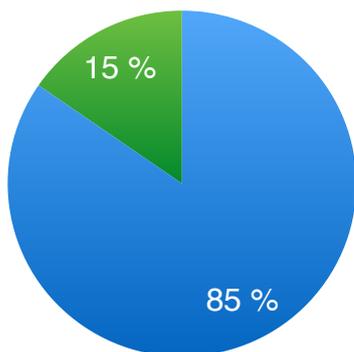
Si la respuesta anterior es afirmativa, ¿sueles conciliar el sueño rápido?

¿Has relacionado algún síntoma de insomnio con el uso de los dispositivos?

¿Has notado diferencias en el uso y no uso de estos protectores? ¿Cuáles?

De todas las respuestas se descartaron 22 por incongruencias en los datos y del total de respuestas restantes (180), observamos que 165 no eran usuarios habituales de dispositivos LED y 15 de ellos sí lo eran y además eran usuarios de filtros de protección. De estos 15, 13 usaban estos dispositivos antes de dormir y se detallan en gráficos inferiores las respuestas más interesantes:

- El tiempo que tardan en dormir depende de días
- Les suele costar conciliar el sueño
- Relacionan insomnio con el uso
- No relacionan insomnio con el uso



Las respuestas acerca de si notaban o no diferencia al usar filtros de los encuestados que sí que los usan, aunque no sea antes de dormir ,se detalla en el gráfico inferior y las respuestas acerca de cuáles eran las diferencias más significativas que apreciaban fueron un cansancio menor de los ojos, menor dolor de cabeza y mayor comodidad.

Del resto de usuarios que usan dispositivos pero no filtros de protección(165) las respuestas de la encuesta son bastante significativas: 82 de los participantes, es decir, casi la mitad de los encuestados que afirman ser usuarios habituales de dispositivos electrónicos retroiluminados han relacionado algún tipo de insomnio con el uso de estos aparatos.

La mayoría de los encuestados que utilizan filtros relacionan algún tipo de síntoma relacionado con el insomnio y cambios en el ritmo del sueño con el uso de los dispositivos LED al igual que los resultados de los estudios que hemos analizado a lo largo del trabajo, que han afirmado que existe una relación muy estrecha con trastornos del sueño y pueden producir fatiga, hormigueo y dolor ocular y migrañas. Por el contrario solo una parte muy pequeña de los encuestados usuarios de filtros notan diferencia con el uso de estos filtros de bloqueo de la luz azul y asocian mejoras como comodidad y descanso.

## 8. CONCLUSIONES

Tras la realización de esta revisión bibliográfica, se puede concluir que:

- La melatonina es una de las hormonas principales que regula nuestro ritmo del sueño y se suele sintetizar siguiendo un ciclo circadiano de 24 horas.
- Cuando hay poca luz se segrega melatonina, lo que significa que se prepara el cuerpo indicando que es la hora de dormir. Cuando la luz azul llega a nuestros ojos se produce un bloqueo de esta hormona y hace que estemos alerta y se produzca un cambio en nuestro sistema que nos despierta.
- La luz azul la encontramos en los dispositivos electrónicos que usamos diariamente como ordenadores, tablets, smartphones, televisores, etc. y contribuyen, usados de manera inadecuada y a horas inapropiadas, a que se produzca un desajuste en nuestro ritmo del sueño. Además numerosos estudios han relacionado enfermedades y síndromes con la luz azul.
- Tener un control del uso de estos dispositivos, disminuyendo las horas de uso, o usando filtros que bloqueen la luz que emiten, tanto en los dispositivos como en lentes oftálmicas, ayudará a mantener una buena salud para que nuestro organismo funcione correctamente.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Perla D, Blanco M, Pedemonte M, Velluti R. TS. Medicina del Sueño. 1st ed. Mediterraneo, editor. Buenos Aires; 2008. p. 54, 105, 326.
- (2) Garaulet M. y Madrid J.A. Chronobiology, genetics and metabolic syndrome. *Current Opinion in Lipidology*. 2009. p.:127-34.
- (3) Rol de Lama R, Baño Otálora M, Bonmatí Carrión A, Ortiz Tudela M, Martínez Madrid E, Argüelles Prieto MJ, Madrid Pérez R. ¿Puede la luz afectar a nuestra salud?. El lado oscuro de la luz, contaminación lumínica. Museo de la ciencia y del agua Ayto. de Murcia. 2014. p.:59-65.
- (4) Saavedra J, Zúñiga L, Amézquita A, Vásquez J. Ritmo circadiano: el reloj maestro. Alteraciones que comprometen el estado de sueño y vigilia en el área de la salud. *Morfología*, 2013. p:16-30.
- (5) Gladys S- Martínez. Regulación circadiana del comportamiento : diferencias entre especies diurnas y nocturnas. *Univ. Psychol.*, 2009;8(2):487–96.
- (6) Martinsons G. Los LED (Light Emitting Diodes) y el riesgo de la luz azul. *Points de Vue* nº68. 2013. p:55-58.
- (7) Escuela de Medicina. Departamento de Oftalmología. Información básica de la anatomía ocular. <http://escuela.med.puc.cl/paginas/Cursos/quinto/Especialidades/Oftalmologia/pdf/AnatomiaOcular2011.pdf> (15 de marzo 2016)
- (8) Sanchez-Ramos Roda C. Filtros ópticos contra el efecto fototóxico del espectro visible en la retina: experimentación animal. Madrid. 2010.
- (9) McDougal DH, Gamlin PD. The influence of intrinsically-photosensitive retinal ganglion cells on the spectral sensitivity and response dynamics of the human pupillary light reflex. *Vision Res*. 2010, 50, p:72-87.
- (10) Czeisler CA, Shanahan TL, Kertman EB, Martens H, Brotman DJ, Emens JS, Klein T, Rizzo JF. Suppression of melatonin secretion in some blind patients by exposure to bright light. *N. Engl. J. Med*. 1995, 332, p: 6-11
- (11) Koyanagi M, Kubokawa K, Tsukamoto H, Shichida Y, Terakita A. Cephalochordate melanopsin: Evolutionary linkage between invertebrate visual cells and vertebrate photosensitive retinal ganglion cells. *Curr. Biol*. 2005, 15, p: 1065-1069.
- (12) Fain GL, Hardie R, Laughlin SB. Phototransduction and the evolution of photoreceptors. *Curr. Biol*. 2010, 20, p:114-124.
- (13) Mure, L.S.; Cornut, P.-L.; Rieux, C.; Drouyer, E.; Denis, P.; Gronfier, C.; Cooper, H.M. Melanopsin bistability: A fly's eye technology in the human retina. *PLoS One* 2009, 4, e5991
- (14) Felipe Silva C. Circadian rhythm sleep disorders: pathophysiology, classification and treatment options. *Revista Memoriza.com* 2010; p:1-13.
- (15) Reiter RJ. Static and extremely low frequency electromagnetic field exposure: reported effects on the circadian production of melatonin. 1993. April, p:394-403
- (16) Berson DM. Strange vision: Ganglion cells as circadian photoreceptors. *Trends Neurosci*. 2003, p:314–320.
- (17) Brown TM, Pigeons HD. Electrophysiology of the suprachiasmatic circadian clock. *Prog. Neurobiol*. 2007, 82, p:229–255.
- (18) Panda S, Provencio I, Tu DC, Pires SS, Rollag MD, Castruccio AM, Fletcher MT, Sato TK, Wiltshire T, Andahazi M. Melanopsin is required for non-image-forming photic responses in blind mice. *Science* 2003, 301, p: 525–527.
- (19) Zhu Y, Tu DC, Denner D, Shane T, Fitzgerald CM, van Gelder RN. Melanopsin-dependent persistence and photopotential of murine pupillary light responses. *Investig. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2007, 48, p: 1268–1275.
- (20) Artigas Verde JM. Lentes de protección ocular. Tema V. <http://www.uv.es/artigas/Opt%20Oftal%20II/Tema%20V-Resumen.pdf> (2 de febrero de 2016).
- (21) Tosini G, Ferguson I, Tsubota K. Effects of blue light on the circadian system and eye physiology. 2016; 22, p: 61–72
- (22) Chang AM, Aeschbach D, Duffy JF, Czeisler CA. Evening use of light-emitting eReaders negatively affects sleep, circadian timing, and next-morning alertness. 2015 .p :112.
- (23) Masahiko A, Masahiro M, Kazuno N, and Kazuo T. Improvements in Sleep Quality and Gait Speed After Cataract Surgery. 2013. p: 35-42
- (24) Chamorro E, Carralero, Bonnin-Arias C, Pérez-Carrasco MJ, Muñoz de Luna J, Vázquez D, Sánchez-Ramos C. Photoprotective Effects of Blue Light Absorbing Filter against LED Light Exposure on Human Retinal Pigment Epithelial Cells In Vitro. *Carcinogenesis & Mutagenesis* 2013.

- (25) Chamorro E. Influencia de las lentes intraoculares amarillas en el daño fototóxico retiniano. Valoración del espesor macular mediante Tomografía de Coherencia Óptica. 2012, Universidad Europea de Madrid: Madrid.
- (26) Hardeland, R. Melatonin and the theories of aging: A critical appraisal of melatonin's role in antiaging mechanisms. *J. Pineal Res.* 2013, 55, p: 325–356.
- (27) Erren, T.C.; Reiter, R.J. Light Hygiene: Time to make preventive use of insights -old and new- into the nexus of the drug light, melatonin, clocks, chronodisruption and public health. *Med. Hypothes.* 2009, 73, p:537–541.
- (28) Erren, T.C.; Reiter, R.J. Revisiting chronodisruption: When the physiological nexus between internal and external times splits in humans. *Naturwissenschaften* 2013, 100, p:291–298.
- (29) Essilor. Tratamientos Essilor Crizal Presencia. <http://www.essilor.es/lentesessilor/tratamientos/paginas/crizalprevencia.aspx> (20 de marzo 2016).
- (30) Hoya. Blue control Máximo confort en un mundo digital. [http://m.hoya.eu/bluecontrol\\_sp.php](http://m.hoya.eu/bluecontrol_sp.php) (20 de marzo 2016).
- (31) Sanchez-Ramos C. CSR Certificado de Seguridad Retiniana <http://www.certificadocsr.com/> (20 de marzo 2016).
- (32) Universitat Politècnica de Catalunya. BarcelonaTech. Es Noticia. <http://www.upc.edu/saladeprensa/al-dia/mes-noticies/mas-del-70-de-los-espanoles-sufre-el-sindrome-visual-informatico-por-un-uso-excesivo-de-las-pantallas-1>. (10 de mayo 2016)
- (33) Alain Afflelou Optico. Blue Block. ¿Por qué es dañina la luz azul de las pantallas? <http://www.alainafflelouoptico.es/wp-content/uploads/2016/01/infografia.pdf> (15 de marzo 2016)
- (34) Wever RA. The Circadian System of Man: Results of Experiments Under Temporal Isolation. 1979. p:25-191
- (35) Noval Martín S, Contreras Martín I, González Manrique M. Fisiología de la visión y de la visión en color. <http://www.ofthalmoseoformacion.com/wp-ofthalmoseo/documentacion/p2010/Cap01-03.pdf>. (2 de abril 2016)
- (36) Moore RY, Speh JC, Card JP. The retinohypothalamic tract originates from a distinct subset of retinal ganglion cells. *J Comp Neurol.* 1995; p: 351-66.
- (37) Kaufman PL, Alm A. Physiology of the eye. Clinical application. Missouri. 2003
- (38) Gooley JJ, Lu J, Fischer D, Saper CB. A broad role for melanopsin in non visual photoreception. *J Neurosci* 2003
- (39) Roldan Arjona JM. Efectos de la radiación sobre el organismo [http://www.apccc.es/arch\\_apccc/tertulias/Radiacion/radiacion.pdf](http://www.apccc.es/arch_apccc/tertulias/Radiacion/radiacion.pdf). (3 febrero 2016)