

Acerca de la luz artificial nocturna

Luz artificial nocturna: polución luminosa, salud pública, biodiversidad y ecosistema.



Ing. Luis Deschères
Cátedra Iluminación y Color
Carrera de Especialización en Seguridad e Higiene en
Ámbito Laboral
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Universidad de Buenos Aires

Introducción

La luz artificial nocturna (LAN) es una de las alteraciones antropogénicas producidas sobre el medio ambiente nocturno con consecuencias para la salud humana, la biodiversidad y el ecosistema. Durante mucho tiempo subestimada, es uno de los tipos de degradación ambiental que aumenta con mayor rapidez. La vida en la Tierra ha evolucionado bajo condiciones ambientales cíclicas, producto de la alternancia del día y la noche debido a la rotación de la Tierra alrededor de su eje, y la alternancia de las estaciones debido a la rotación de la Tierra alrededor del Sol. A fin de sobrevivir, los organismos vivos debieron lograr la forma de anticiparse a estos cambios cíclicos para ajustar su metabolismo, fisiología y comportamiento a esos cambios cíclicos. A partir de ese fundamental requerimiento, tuvo lugar el establecimiento de un "reloj biológico" capaz de medir el tiempo y preparar al cuerpo para las variaciones ambientales cíclicas por venir. Los ritmos biológicos así establecidos comenzaron en el origen de la vida y constituyen una propiedad fundamental de los seres vivos. Se encuentran en bacterias, hongos, plantas, animales y humanos.

Los ritmos biológicos así establecidos comenzaron en el origen de la vida y constituyen una propiedad fundamental de los seres vivos. Se encuentran en bacterias, hongos, plantas, animales y humanos.

A lo largo de los millones de años, los mecanismos de captura de luz y de adaptación a los cambios diarios y anuales en el fotoperíodo se volvieron cada vez más complejos. Los organismos vivos fueron asegurando su supervivencia bajo la luz del sol y bajo la oscuridad del cielo nocturno. El "reloj biológico" de todas las especies se fue sincronizando bajo el ritmo diario de esas señales naturales de luz y oscuridad del

medio ambiente. Pero, en una escala de algunas décadas recientes, se incorporó la luz artificial nocturna (LAN) desafiando esas condiciones naturales y con un crecimiento exponencial respecto a ellas. Cuando hablamos de alumbrado artificial nocturno exterior LAN nos referimos al alumbrado público vial, la iluminación de edificios no residenciales, vidrieras de establecimientos comerciales, cartelería, parques, plazas, jardines, playas de estacionamiento, iluminación exterior de eventos y obradores.

Las luces artificiales aumentan significativamente la luminosidad del cielo nocturno, creando el efecto más visible de la contaminación luminosa: la luminancia artificial del cielo nocturno por reflexión y difusión de la luz artificial en los gases y en las partículas del aire urbano de forma que disminuye la visibilidad de las estrellas, y demás objetos celestes, llegando, en grandes urbes, a su ocultamiento total. Este perjuicio no se limita al entorno del lugar donde se produce la contaminación si no que, además, la luz se difunde por la atmósfera y se hace visible a centenares de kilómetros. Las investigaciones de los últimos 30 años nos indican que, además de las intensidades emitidas por las fuentes de luz, es de suma importancia el conocimiento de su distribución espectral. Por un lado, fuentes de luz con radiaciones de longitudes de onda comprendidas entre 430 y 480 nm próximas a la radiación ultravioleta nos ubican en la zona donde el riesgo fototóxico es máximo para la retina macular (Torriglia, 2018). Por otro, la emisión en esa banda de longitudes de onda también incrementa fuertemente la luminancia del cielo nocturno. La alteración de la oscuridad natural del ciclo circadiano bajo la cual los organismos vivos fueron asegurando su supervivencia impacta, por un lado sobre la salud humana, y por otro produce una aceleración dramática en la extinción de especies, seguida de la desorganización y el colapso de los ecosistemas. La gran mayoría de las especies es incapaz de superar tales factores de estrés aditivos y desarrollar nuevas estrategias en un período de tiempo tan corto. Cabe recor-

dar que alrededor del 30% de los vertebrados y más del 60% de los invertebrados son nocturnos (Hölker et al., 2010). Por otro lado, el 95% de las especies animales son invertebrados. La fauna nocturna es mucho más numerosa que la diurna y precisa oscuridad para sobrevivir y mantenerse en equilibrio. A pesar de que bajo luz artificial nocturna algunas especies a expensas de otras obtienen una ventaja a corto plazo, a la larga afectan todo el ecosistema. Es de nuestro propio interés preservar los ecosistemas y la biodiversidad que sustentan la vida humana, no sea que las decisiones de diseño de hoy se conviertan en las responsabilidades del mañana (Kevin W. Houser, 2021). Revertir o incluso ralentizar este proceso requerirá una profunda reconsideración de nuestras políticas ambientales, lo que implica un reexamen de nuestro particular estilo de vida moderno.

Es de nuestro propio interés preservar los ecosistemas y la biodiversidad que sustentan la vida humana, no sea que las decisiones de diseño de hoy se conviertan en las responsabilidades del mañana.

En la actualidad, los científicos consideran que la contaminación luminosa generada por (LAN) es una de las formas de contaminación de más rápido crecimiento en el mundo con un promedio del 6% anual. La figura 1 nos representa claramente la situación por la cual en las grandes ciudades han perdido completamente la percepción de nuestro cielo nocturno. A la izquierda la extinción de la noche por la contaminación, a la derecha mismo lugar, mismo día, un corte de energía total extingue toda la iluminación artificial y se puede observar el cielo nocturno que estaba oculto.



Figura 1. Corte total de energía eléctrica en la ciudad de Toronto (Canadá), el 14 de agosto de 2003.

Izquierda: polución del cielo nocturno por las luces artificiales (LAN). Derecha: recuperación total del cielo nocturno a causa del corte.

Foto: Todd Carlson.

Argentina figura en noveno lugar entre los veinte países con mayor porcentaje de su población bajo cielos tan brillantes que el ojo no puede adaptarse completamente a la oscuridad.

A pesar del creciente interés entre los científicos en campos como la ecología, la astronomía, el cuidado de la salud y la planificación del uso de la tierra, la polución luminosa carecía de una cuantificación actualizada de su magnitud a escala global. En 2016 se presentó el documento "The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness" (Falchi et al. 2016), atlas mundial de luminancia artificial del cielo utilizando nuevos datos satelitales de alta resolución y nuevas mediciones precisas de las luminancias del cielo. Este atlas muestra que más del 80% del mundo y más del 99% de las poblaciones de Estados Unidos y Europa viven bajo cielos con polución luminosa. La Vía Láctea está oculta para más de un tercio de la humanidad. El país con mayor polución luminosa es Singapur, donde toda su población vive bajo esas condiciones. Le siguen Kuwait (98%), Qatar (97%), Emiratos Árabes Unidos (93%), Arabia Saudita (83%), Corea del Sur (66%), Israel (61%), Argentina (58%), Libia (53%) y

Trinidad y Tobago (50%). Como podemos apreciar, en este atlas mundial, Argentina figura en noveno lugar entre los veinte países con mayor porcentaje de su población bajo cielos tan brillantes que el ojo no puede adaptarse completamente a la oscuridad. Es muy importante que tomemos conciencia de nuestra situación, ya que los datos son de 2016 y en estos últimos cinco años hemos incorporado las fuentes de luz led en el alumbrado público, con las cuales logramos mejorar el consumo de las instalaciones existentes de lámparas a descarga (SAP) en el orden del 50%. Pero no se tuvo en cuenta, por desconocimiento o falta de información, que por la distribución espectral de las fuentes seleccionadas identificadas por su TCC se incrementó la polución luminosa. Ya en este documento atlas mundial se informaba que una fuente de luz con una TCC superior a 4.000 K genera alrededor de 2,5 veces más polución que una fuente SAP (TCC menor a 3.000 K). Inmediatamente después de la publicación del documento, en junio 2016 la American Medical Association (AMA) expresó su preocupación por la exposición a la luz azul de la iluminación exterior y recomendó utilizar solo iluminación con una temperatura de color de 3.000 K o inferior. Se iniciaba así una fuerte participación de la medicina sobre el impacto de la luz artificial en la salud humana en función de la incorporación del efecto no visual y sus consecuencias biológicas y psicológicas. Se empezó a hablar de la "medicina de la luz". Un fuerte debate ha surgido en muchos países, ya que la evidencia científica documentada sugiere que la exposición a la luz artificial nocturna tiene efectos adversos en la salud humana.

Se empezó a hablar de la "medicina de la luz". Un fuerte debate ha surgido en muchos países, ya que la evidencia científica documentada sugiere que la exposición a la luz artificial nocturna tiene efectos adversos en la salud.

Es muy importante señalar que a nivel mundial ya se han tomado y se están tomando medidas para la limitación del alumbrado artificial nocturno exterior. Las propuestas para limitar esta presión antrópica se basan en proporcionar luz artificial nocturna en la cantidad y calidad adecuada, en el momento oportuno y durante el tiempo necesario. Se estimula el reemplazo de las luminarias a descarga por la nueva tecnología led, habida cuenta de su alta eficiencia, pero exigiendo también una respuesta biodinámica e inteligente de la fuente de luz. Moderan el nivel de iluminación y, particularmente, limitan las TCC entre 2.200 y 3.000 K para luminarias ambientales, con un máximo de 3.000 K para luminarias funcionales (carreteras) y con un IRC como mínimo de 70. No se permite la utilización de fuentes luminosas que superen la temperatura de color de 3.000 K, salvo para circunstancias especiales que deben ser justificadas, tales como los eventos deportivos, u otros.

Como ejemplo concreto, el 1 de enero de 2020, el gobierno francés introdujo una nueva ley nacional que ahora se considera una de las normativas medioambientales más restrictivas de Europa. Se basa en un Decreto (27 de diciembre de 2018) relativo a la prevención, a la reducción y a la limitación de la polución luminosa del alumbrado artificial nocturno para preservar el medioambiente, flora y fauna. Bajo el mismo criterio y por Real Decreto (16 de Julio 2021), el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo de España, aprueba el "Reglamento de ahorro y eficiencia energética y reducción de la contaminación lumínica en instalaciones de alumbrado exterior y sus instrucciones técnicas complementarias". Entre sus considerandos, establece que la contaminación luminosa genera numerosas y perjudiciales consecuencias como son el aumento del daño a los ecosistemas nocturnos, el gasto energético y económico, la intrusión lumínica, la inseguridad vial, el dificultar el tráfico aéreo y marítimo, la degradación del cielo nocturno y la pérdida del patrimonio natural y cultural, además de los problemas causados a los observato-

rios astronómicos. Actualmente está en discusión para su aprobación.

Sistema visual humano

La supervivencia humana a lo largo de nuestra evolución fue especialmente condicionada a la presencia de la luz diurna y, por lo tanto, nuestro ojo no está adaptado para la visión nocturna. Somos seres diurnos y activos en ese período del ciclo circadiano de nuestro medio ambiente. A lo sumo, nuestro ojo puede adaptarse a muy poca luz durante un corto período de tiempo. La agudeza visual disminuye, el contraste ya no se percibe y, por lo tanto, es difícil localizar y anticipar obstáculos. La decodificación de nuestro entorno para permitir nuestros desplazamientos, nuestra seguridad, nuestra continuidad como seres humanos en el ecosistema que nos ocupa, depende del ojo que actúa como transductor de las radiaciones ópticas presentes en el campo físico (sensación) convirtiéndolas en señales para el campo neurofisiológico (percepción). La percepción consta de la energía luminosa para la formación de imágenes mentales, que son lo único que se percibe de todo este proceso. Por ejemplo, los colores no existen fuera de nuestro organismo psicofisiológico. En el medio ambiente que nos rodea, solo existen distintas medidas de energía luminosa con sus respectivos espectros de luz directos o reflejados. Si esos espectros, "sensación", son radiaciones de una banda de longitudes de onda comprendidas entre 380 y 780 nm, ingresarán a través del ojo y serán decodificados por el cerebro "percepción". Por lo tanto, el color es solo un pigmento de nuestra imaginación (Ingling, 1977). Debe quedar bien claro que las sensaciones visuales son una interpretación que hace nuestro cerebro, y no una presentación de los sucesos del exterior. El 80% de nuestra información sensorial se origina por la vista, y el 50% de nuestro cerebro se utiliza para la visión.

Ahora sabemos que la luz tiene efectos no visuales con impacto en nuestra salud y bienestar, en la biodiversidad y en el ecosistema.

La iluminación tal como la conocemos hoy, sus distintas aplicaciones, su métrica se basa en los efectos visuales de la luz. Sin embargo, ahora sabemos que la luz tiene efectos no visuales con impacto en nuestra salud y bienestar, en la biodiversidad y en el ecosistema. En el contexto de un nuevo enfoque y reconsiderando la luz a la cual las personas están expuestas a lo largo de su vida, la CIE (Commission internationale de l'Éclairage) ha propuesto que "iluminación integradora" sea el término oficial para la iluminación que está específicamente destinada a integrar efectos visuales y no visuales, produciendo efectos fisiológicos y psicológicos en los seres humanos. Esto marca el comienzo de un profundo cambio que nos señala que la iluminación de mañana será muy diferente a la que estamos acostumbrados hoy.

Iluminación integradora

Las respuestas visuales y no visuales son impulsadas por los fotorreceptores que residen en la retina y envían señales al cerebro (figura 2). Como podemos apreciar, a los conocidos fotorreceptores de la retina —conos y bastones— se ha incorporado el nuevo y quinto fotorreceptor (ipRGC) células ganglionares intrínsecamente fotosensibles (Berson, 2002), (ver figura 3). El efecto visual se produce por el ingreso de la luz a la retina donde se hallan los fotorreceptores conos y bastones. La capacidad de los conos y los bastones de responder a la luz se debe al fotopigmento que contienen los discos que componen el segmento externo (la opsina, en el caso de los conos, y la rodopsina, en los bastones). Con la estimulación del fotopigmento por medio de un fotón se produce la fototransducción, proceso por el cual la información captada por las células fotorreceptoras se convierte en señal eléctrica que se manda por medio del nervio óptico al

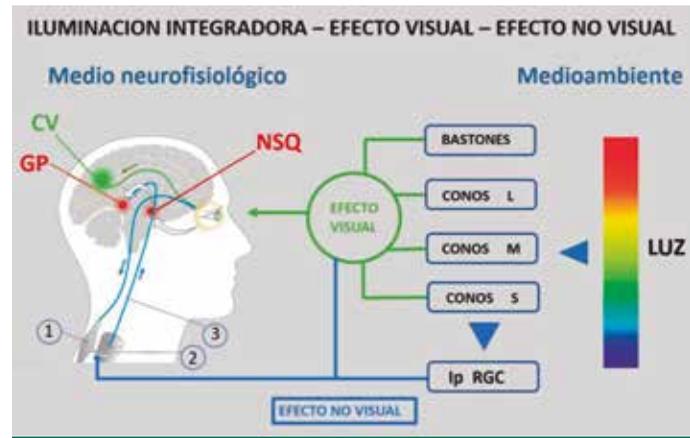


Figura 2. Iluminación integradora; CV, corteza visual; NSQ, núcleo supraquiasmático; GP, glándula pineal o epífisis cerebral. (1) Ganglio cervical superior; (2) médula espinal; (3) tracto retinohipotalámico.

cerebro, en este caso a la corteza visual CV, que es la zona cerebral encargada de decodificar la percepción y convertirla en visión. Aunque la estructura de los conos y los bastones es diferente, el mecanismo de fototransducción en ambos es muy similar. El cerebro nos proporciona las imágenes utilizando la información que proviene de la retina para crear la sensación de color, forma y movimiento; y otras veces, crea las imágenes desde dentro cuando el individuo lo recuerda, lo imagina o lo sueña.

Las aves tienen proporcionalmente más receptores de luz en la retina que los mamíferos, y más conexiones nerviosas entre los fotorreceptores y el cerebro.

Los conos tienen tres tipos de fotopigmentos con sensibilidades espectrales máximas para longitudes de onda largas 'L' (rojo) en 580 nm, medias 'M' (verde) en 530 nm y cortas 'S' (azul) en 450 nm (Behar-Cohen et al., 2011). Estos fotorreceptores y sus respectivos fotopigmentos son los responsables de la visión en color y en altos niveles de iluminación (luminancia superior a 5 cd/m²) y que denominamos "visión fotópica". Tam-

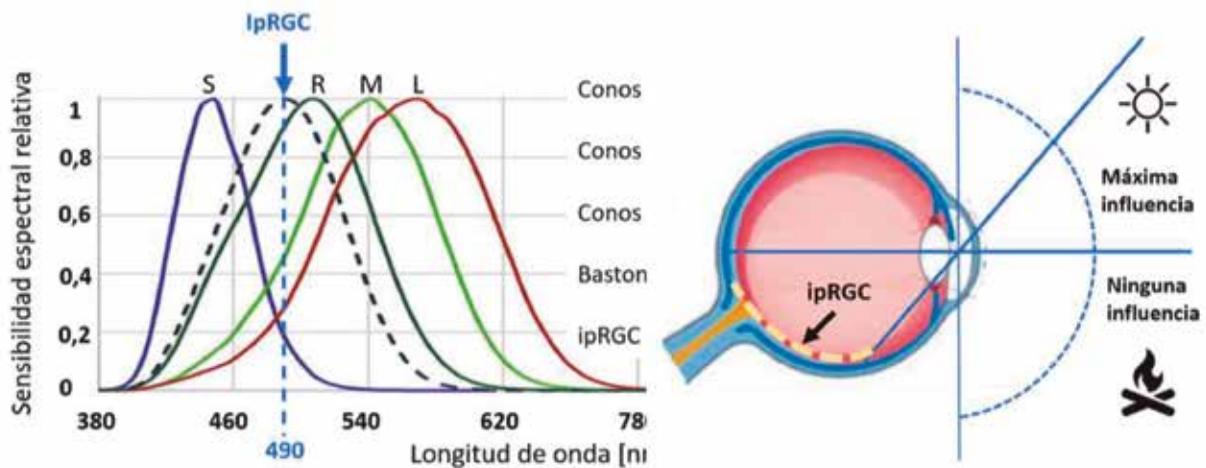


Figura 3. CIE S 026:2018 "Sistema CIE para metrología de radiación óptica para respuestas a la luz influenciadas por ipRGC. Esta nueva norma internacional define funciones, cantidades y métricas de sensibilidad espectral con el objeto de evaluar la capacidad de la radiación óptica de estimular cada una de las cinco clases de fotorreceptores de la retina que, a través de los ipRGC, pueden contribuir a los efectos y funciones no visuales de la luz en los seres humanos.

bién por esta razón somos seres tricromáticos. Los bastones tienen un solo tipo de fotorreceptor con una sensibilidad espectral máxima en 507 nm, y que coincide con la curva de eficiencia luminosa espectral para la visión escotópica $V'(\lambda)$. Los pigmentos fotosensibles, opsinas para los conos y rodopsina para los bastones, se consumen durante el día y se regeneran por la noche. Los bastones son los responsables de la visión en bajos niveles de iluminación (luminancia inferior a $0,005 \text{ cd/m}^2$), sin discriminación de color y que denominamos "visión escotópica". Entre ambos niveles de iluminación (entre $0,005$ y 5 cd/m^2), se encuentra la visión mesópica donde tanto los conos 'S', 'M', 'L' como los bastones están activos. En general, las exigencias de valores mínimos de luminancia para el alumbrado público vial se encuentran en la gama de los niveles de visión mesópica. En cuanto a la fauna, la mayoría de los mamíferos son dicromáticos, tienen dos tipos de fotorreceptores 'S' y 'M'. Si bien los primates tienen tres. Las aves, los peces, anfibios y reptiles, tienen cuatro tipos de fotorreceptores, lo que les permite percibir no solo la luz en el espectro visible, sino también en el ultravioleta, y otras adaptaciones permiten la detección de luz polarizada.

Las aves tienen proporcionalmente más receptores de luz en la retina que los mamíferos, y más conexiones nerviosas entre los fotorreceptores y el cerebro. El efecto no visual y sus consecuencias biológicas y psicológicas, también se produce por el ingreso de la luz a la retina donde, además de los conos y bastones, se encuentran las células ganglionares intrínsecamente fotosensibles (ipRGC) y su respectivo fotorreceptor melanopsina (figura 2). La respuesta de las ipRGC a la luz difiere en gran medida a la de los conos y bastones. Mientras que estos últimos se hiperpolarizan en respuesta a la luz, las ipRGC se despolarizan (Sollars y Pickard, 2015). Además, debido a que utilizan la melanopsina como fotorreceptor, son especialmente sensibles a longitudes de onda comprendidas entre 480 y 490 nm (luz azul-turquesa, denominada también "banda espectral melanópica", mostrando una sensibilidad espectral diferente a la de conos y bastones. Cabe destacar que las ipRGC están distribuidas por toda la retina, pero con predominancia en la zona nasal (figura 3), de modo que resultan más sensibles a la luz proveniente del cielo con máxima influencia en el efecto no visual. Dado que su sensibilidad espectral máxima está en los 490

nm, se potencia aún mucho más si la radiación incidente presenta luz azul o una fuente con TCC superior a 3.000 K.

Para una amplia variedad de condiciones ecológicamente válidas, se ha demostrado que la fototransducción de las ipRGC basadas en melanopsina explica la sensibilidad espectral de las respuestas no visuales, desde cambiar el momento del sueño nocturno y la secreción de melatonina, hasta regular el diámetro de la pupila en estado estacionario. Hallazgos recientes continúan confirmando que el fotorpigmento melanopsina también juega un papel en las respuestas visuales (figura 2), y que la fotorrecepción basada en melanopsina puede tener una influencia significativa en la percepción del brillo y aspectos de la visión espacial. A partir de estos hallazgos, hay evidencia convergente, que las señales de la melanopsina llegan a la corteza visual, donde pueden contribuir y modular nuestra percepción visual (Spitschan M. et al., 2017).

Sistema circadiano. organización y cronobiología

La cronobiología es la disciplina de la biología que estudia los fenómenos periódicos (cíclicos), o ritmos biológicos, en los seres vivos. La cronobiología estudia la organización temporal de los seres vivos, sus alteraciones y los mecanismos implicados en su regulación. Posee especial interés, entre muchos otros aspectos, en endocrinología, neurociencia, ciencia del sueño y el estudio del comportamiento de los organismos. El eje central de la cronobiología se basa en la existencia de relojes biológicos endógenos en los organismos, desde el nivel molecular al nivel anatómico, que posibilitan la ejecución de una actividad biológica en un punto temporal concreto.

Los ritmos biológicos constituyen una propiedad fundamental de los seres vivos y se encuentran en bacterias, hongos, plantas, animales y humanos. El astrónomo Jean-Jacques d'Ortous de Mairan, en 1729, proporcionó las primeras evi-

dencias científicas de la existencia de un ritmo biológico que regulaba los movimientos foliulares de la planta mimosa púdica, demostrando que tanto los movimientos de apertura como los de cierre de sus hojas se mantenían en condiciones de oscuridad durante días. Concluyó que las plantas tenían que ser capaces de sentir el sol de alguna manera, sin verlo, y así saber la hora del día en que se encontraban. Se dedujo entonces que las células de la planta poseían un reloj biológico interno (endógeno) encargado de sincronizar sus movimientos foliulares respecto al ciclo circadiano de 24 h. Esta demostración marcó el principio de la ciencia de los relojes internos. En pocas palabras, las células de la planta en plena oscuridad permanente podían anticipar el amanecer o el atardecer y seguir regulando sus movimientos foliulares. Este primer paso dejó planteada la inquietud de investigar si este ritmo biológico era detectable en otros organismos vivos.

Los ritmos biológicos constituyen una propiedad fundamental de los seres vivos y se encuentran en bacterias, hongos, plantas, animales y humanos.

En estos organismos se ha constatado la existencia de una serie de cambios rítmicos en sus mecanismos de control fisiometabólicos, así como diversos procesos que tienen lugar de manera periódica y previsible y que reciben el nombre de "ritmos circadianos". El término "circadiano" deriva del latín "circa", que significa alrededor de, y "dies", día y se refiere a cambios cíclicos que se extienden durante periodos regulares de aproximadamente 24 h de duración. Franz Halberg, uno de los fundadores de la cronobiología moderna, acuñó el término "circadiano" para referirse al ritmo que oscila con una periodicidad de más o menos un día (24 h). Se lo considera el "padre" de la cronofarmacología, por sus intensos estudios sobre la aplicación de fármacos a diferentes horas del día.

Colin S. Pittendrigh, estudiando los ritmos de la drosophila, la mosca de la fruta, y otras especies, descubrió los principios en los que se asienta la cronobiología moderna.

Pasaron más de dos siglos hasta que Colin S. Pittendrigh, estudiando los ritmos de la drosophila, la mosca de la fruta, y otras especies, descubrió los principios en los que se asienta la cronobiología moderna y proporcionó los primeros modelos formales sobre cómo los ritmos circadianos se sincronizan con los ciclos de luz y oscuridad del medioambiente. Durante finales del siglo XX y principios del siglo XXI, se profundizan las investigaciones para verificar si todos los organismos vivos (bióticos), plantas, flora, fauna y seres humanos también tienen incorporados en sus células un reloj biológico interno. Finalmente, las investigaciones realizadas por Jeffrey Hall, Michael Rosbash y Michael Young desde los años '80 han llevado al descubrimiento de los mecanismos moleculares de control de los ritmos circadianos. Al aislar e investigar el gen "período" de la mosca de la fruta, pudieron demostrar la existencia del reloj biológico interno (endógeno) que controla el ritmo circadiano de humanos, animales y plantas. Sus resultados fueron premiados con el Nobel de Medicina y Fisiología 2017.

Por lo tanto, los seres humanos tenemos nuestro reloj biológico interno que controla nuestros ritmos circadianos, al igual que todos los organismos. El período endógeno natural de nuestros ritmos circadianos no es exactamente igual a 24 horas. Pero, según los individuos, está comprendido entre 24,2 y 25,5 horas. Esto fue establecido mediante experimentos llevados a cabo con personas inmersas en la oscuridad (o sometidas a muy poca luz) durante varios días, sin acceso a reloj o marca de tiempo. Otro estudio realizado en 1999 por la University of Harvard (Estados Unidos) estimó que el ritmo circadiano natural

en los humanos está próximo a las 24 horas y 11 minutos, más cercano al día solar.

Pero es muy importante aclarar que, en los organismos más complejos como los seres humanos, el reloj biológico interno (endógeno) necesita que haya algo que pueda mirar al medioambiente y comprobar si es de día o de noche, y a su vez poder transmitir dicha información a todas las células del cuerpo para poder mantener la regulación de sus ritmos circadianos sincronizados con el ciclo luz oscuridad del medioambiente. Esto se debe a que el período endógeno natural de nuestros ritmos circadianos no es exactamente igual a 24 horas. Por su naturaleza autónoma e incluso en ausencia de estímulo ambiental (luz natural) como los experimentos mencionados arriba, los ritmos continúan expresándose con un período cercano a las 24 horas pero con un desfase diariamente progresivo con respecto al tiempo solar. Esto hace que los períodos de actividad y descanso se vayan desfasando diariamente y no se correspondan con el tiempo solar. Por lo tanto, si nuestro reloj interno solo controlara el ritmo biológico, sin ser "resincronizado" diariamente con el ciclo luz oscuridad de 24 horas del medioambiente, nuestros ritmos circadianos entrarían en curso libre, y todo el mundo acabaría durmiendo a una hora diferente del día o de la noche, haciendo que la vida en sociedad fuera incompatible.

El sistema circadiano de los mamíferos y humanos (figura 4) está formado por un oscilador principal, o reloj central, localizado en el núcleo supraquiasmático (NSQ) del hipotálamo y por osciladores secundarios, o relojes periféricos, localizados en los tejidos y órganos (corazón, hígado, páncreas, etc.), fuera de su sistema nervioso central. El reloj central es el responsable de mantener la regulación de los ritmos circadianos de todas las células del organismo y, como vimos, para ello necesita saber si el medio ambiente está en modo diurno o modo nocturno.

Esta imprescindible señal le llega gracias a la existencia de la ruta no visual basada en los fo-

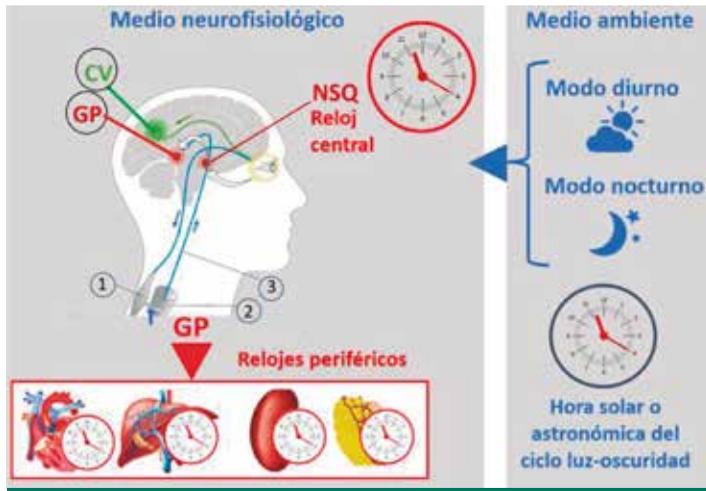


Figura 4. Nuestro reloj central endógeno (NSQ) se ocupa de sincronizar los diversos relojes periféricos con respecto a los estímulos externos (zeitgeber) luz-oscuridad y estimula la síntesis y liberación de la melatonina por medio de la glándula pineal o epífisis que es un agente biótico.

torreceptores ipRGC provistas del pigmento melanopsina. Esta señal es la que permite sincronizar el reloj central ubicado en el NSQ con respecto al modo en que se halla el medioambiente. A su vez, el reloj central por medio de la GP se ocupa de enviarles a los relojes periféricos las correspondientes señales “sincronizadoras”, las que a su vez son transmitidas a sus respectivos tejidos y órganos. De este modo, las células del cuerpo humano pueden mantener la regulación de sus ritmos circadianos sincronizados con el medioambiente, y no entrar en un perjudicial curso libre.

Ritmos circadianos y adaptación de nuestra fisiología a los ciclos del día

En el ciclo oscuridad el medioambiente está modo nocturno (figura 4). En esa condición, el reloj central localizado en el NSQ del hipotálamo informa a la glándula pineal GP, la estrella de este proceso, que en esas condiciones sintetice y libere melatonina, una hormona derivada de la serotonina que afecta la modulación de los patrones del sueño, tanto a los ritmos circadianos como estacionales lo que produce una sensación de tranquilidad y bienestar. En el modo noctur-

no, además desciende la presión arterial, la temperatura y el metabolismo. La melatonina no solo juega un papel fundamental en la inducción del sueño, sino que también tiene efecto hipotensor e inhibidor de la actividad tiroidea.

En algunos animales (peces, reptiles y anfibios), la glándula pineal se localiza bajo la piel y es capaz de recibir la información luminosa de forma directa. De ahí que también se la conozca como "el tercer ojo".

La producción de la hormona melatonina muestra un marcado ritmo circadiano, con valores bajos durante el día y elevados durante la noche, con independencia del carácter nocturno o diurno que posean los organismos. Por esta razón también se la conoce como la “oscuridad química”. La gran estabilidad de su ciclo y el hecho de que su producción coincida con la oscuridad ha permitido que la melatonina sea utilizada por los organismos como un reloj diario, que les informa de la llegada de la noche, y también como un calendario que les informa del momento del año preciso en el que se encuentran. Esto último se consigue gracias a que la duración de la producción de melatonina está directamente relacionada con la duración del modo nocturno. Si el modo nocturno se alarga, también se prolonga el tiempo en el cual los niveles de la melatonina permanecen elevados. Si por el contrario se acorta, disminuye progresivamente el tiempo en los cuales permanecen elevados. A diferencia de mamíferos y seres humanos, en algunos animales (peces, reptiles y anfibios), la glándula pineal se localiza bajo la piel y es capaz de recibir la información luminosa de forma directa. De ahí que también se la conozca como "el tercer ojo".

En el ciclo luz, el medio ambiente está en modo diurno (figura 4). En esa condición y ante la presencia de la luz en la retina, ahora inversamente, el marcapasos o reloj central localizado en el

Liberación de melatonina/cortisol

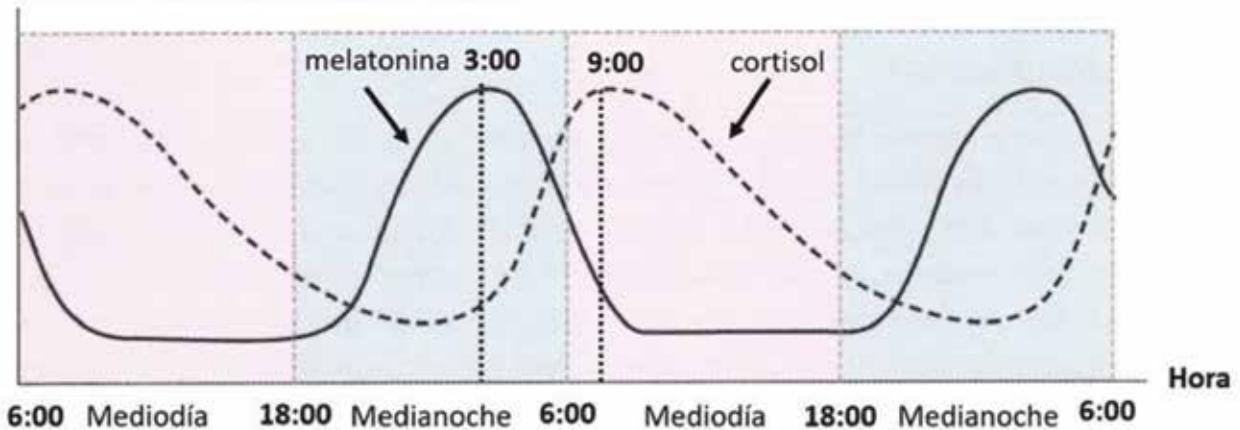


Figura 5. La máxima concentración de la hormona melatonina se alcanza alrededor de las 3:00, y la máxima concentración de la hormona cortisol, alrededor de las 9:00. Ambas operan en oposición.

NSQ del hipotálamo informa a la glándula pineal GP que reduzca la síntesis y liberación de la melatonina. Por otro lado, se liberan e incrementan las hormonas estimulantes como el cortisol, la adrenalina y la noradrenalina. En este caso, lo que se genera es un estado de vigilia o alerta, un aumento en la capacidad de concentración, energía física, precisión y capacidad resolutive de toma de decisiones. En el modo diurno, además la temperatura corporal es más baja, mientras que la presión arterial sube.

Los humanos somos seres de actividad diurna y de reposo nocturno, condiciones indispensables para el buen funcionamiento de nuestro reloj biológico y de nuestra salud y bienestar.

Como podemos apreciar en la figura 5, bajo el ciclo de la luz del sol (mediodía) y bajo el brillo del cielo nocturno (medianoche), la melatonina alcanza su máxima concentración alrededor de las 3:00 h, mientras que el cortisol alcanza su máxima concentración alrededor de las 9:00 h. Los humanos somos seres de actividad diurna y

de reposo nocturno, condiciones indispensables para el buen funcionamiento de nuestro reloj biológico y de nuestra salud y bienestar.

En un organismo, la melatonina permite verificar el estado de sincronización o su ruptura, ya que esta puede ser puesta en evidencia por ser integrante de las variables consideradas como marcadoras circadianas (cortisol, melatonina, temperatura). Esta importante propiedad que nos brinda una manera de cuantificar se debe a que los ritmos de esas variables son reproducibles, fiables y de gran amplitud (Selmaoui et al., 2003).

Melatonina, marcadora circadiana para una iluminación saludable

En el caso de la melatonina, esta relación no resulta por casualidad, sino que la melatonina se considera como un sincronizador endógeno y una molécula cronobiótica, ya que es capaz de regular y reajustar los ritmos circadianos, tanto en el reloj central, como en tejidos periféricos. Esta hormona noctámbula también es un poderoso agente antioxidante, neuroprotector, modulador del sistema inmune y es asimismo capaz de reducir al mínimo el crecimiento de las células tumorales (función oncostática) o de activar las

respuestas anti inflamatorias y anti hipertensivas, entre otras muchas capacidades. Pero ¿cómo puede la melatonina mostrarse efectiva frente a patologías tan diversas? La respuesta se encuentra en su pleiotropía, es decir, en su capacidad para regular múltiples procesos bioquímicos y, por ende, de intermediar en numerosos cuadros fisiopatológicos. Los niveles de melatonina se obtienen del análisis de muestras de saliva, orina o sangre.

Niveles de melatonina, consecuencias fisiológicas

En las sociedades modernas, el ciclo natural de luz/oscuridad se ha alterado por el abuso de la luz artificial durante la noche. Una de las consecuencias fisiológicas directas de la exposición a luz nocturna es la supresión de la secreción de melatonina. La reducción en los niveles de melatonina se produce tanto por nuestra modalidad de prolongar el día sobre la noche mediante luz artificial como por exposiciones breves o pulsos de luz durante la noche. El grado de supresión de melatonina vendrá definido por el factor temporal que relaciona el momento y la duración de la exposición, por el factor espectral que se refiere a la distribución espectral y que respalda la calidad del color y el nivel de luz, por el factor espacial que se refiere a la distribución de la luz en el espacio, por el factor intensidad que se refiere a la cantidad de luz en términos de unidades radiométricas y fotométricas y por el factor historia fótica que se refiere a la historia de exposición del individuo a la luz durante el día. Estos cinco factores contribuyen al poder del estímulo de la luz para evaluar tanto su efecto no visual como el visual.

En las sociedades modernas, el ciclo natural de luz/oscuridad se ha alterado por el abuso de la luz artificial durante la noche.

Veamos algunos ejemplos de supresión de acuerdo con el factor temporal (figura 6). Supongamos una situación en la que estamos en modo nocturno con un buen nivel de melatonina y se produce la exposición a un pulso de luz que suprime la síntesis y liberación de melatonina. Si la exposición al pulso se produjo en la primera mitad de la noche, los niveles de melatonina podrán restablecerse tras el pulso de luz (en una hora). Por el contrario si el pulso se produjo en la segunda mitad de la noche ya no se podrán restablecer los niveles de melatonina. Según estudios recientes, exposiciones de 10 a 15 minutos al comienzo de la noche, pueden suprimir la síntesis y liberación de melatonina y retrasar o desincronizar el reloj central. Veamos el impacto de acuerdo con el factor espectral e intensidad de la luz. Las longitudes de onda que producirán mayor supresión son las de luz azul, siendo las comprendidas entre 415 y 455 nm las más nocivas para el ser humano. Si bien se creía, hace veinte años, que se necesitaban niveles de luz superiores a 1.000 lux para afectar el reloj, estudios recientes muestran que unos 10 a 40 lux (o incluso simplemente velas) pueden suprimir la síntesis y liberación de melatonina (F. Behar-Cohen). En cuanto al factor historia fótica, se ha comprobado que es muy importante la exposición a los niveles de luz solar durante el modo diurno. Estudios, incluidos los epidemiológicos, muestran que las supresiones debidas a las exposiciones de la luz al comienzo de la noche resultan muy atenuadas si previamente se estuvo bajo niveles importantes durante el día. Es decir, cuanto más impacto circadiano recibamos durante el día, más melatonina produciremos durante la noche. Por sus cualidades espectrales e intensidad, la exposición a dos horas de luz natural, preferentemente en la primera mitad del día, es la más saludable. Además, la luz de la mañana, cuando incorpora suficiente cantidad de azul en su espectro, nos activa. Al contrario, la luz artificial de la noche debe ser más cálida a fin de facilitar el descanso nocturno, y es preciso mantener la máxima oscuridad posible cuando dormimos.

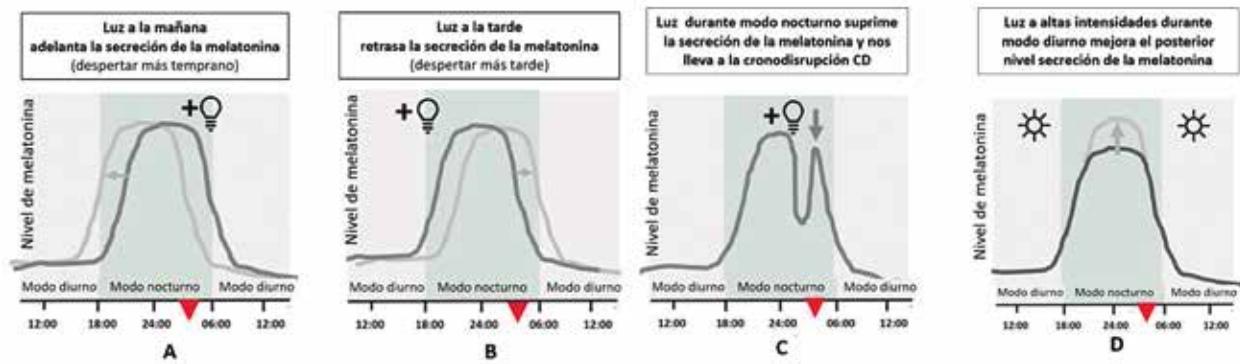


Figura 6. Modificado de Schlangen et al. (Front. Neurol., 04 March 2021). (A–D) Representación gráfica de los efectos de la luz en el perfil de melatonina de 24 h.

La luz de la mañana, cuando incorpora suficiente cantidad de azul en su espectro, nos activa. Al contrario, la luz artificial de la noche debe ser más cálida a fin de facilitar el descanso nocturno, y es preciso mantener la máxima oscuridad posible cuando dormimos.

La sincronización efectiva del reloj central requiere de una alta intensidad de luz durante el día y una buena oscuridad durante la noche tal como fue nuestro medio ambiente evolutivo. Caso contrario estamos expuestos a la cronodisrupción CD o disfunción del sistema circadiano, resultando una importante perturbación del orden temporal interno de los ritmos circadianos fisiológicos, bioquímicos y comportamentales.

Cada vez más los estudios epidemiológicos asocian la cronodisrupción (CD) con un aumento de la incidencia y una aceleración en la progresión de numerosas patologías, entre las que se encuentran el deterioro cognitivo, enfermedad cardiovascular, algunos tipos de cáncer, envejecimiento acelerado, trastornos metabólicos como la diabetes, alteraciones de sueño, depresión, inmunodepresión e infertilidad. Durante los últimos años, los problemas causados por la falta de sincronización circadiana entre nuestro reloj central biológico y el reloj externo o tiempo as-

tronómico se ha transformado en una preocupación de salud pública. Actualmente la OMS reconoce científicamente que la cronodisrupción CD de nuestro reloj biológico puede causar numerosos problemas de salud. A corto plazo, se encuentran las alteraciones de sueño y fatiga mientras que a largo plazo incluyen el deterioro cognitivo, la enfermedad cardiovascular, algunos tipos de cáncer [mama-próstata], envejecimiento acelerado, trastornos metabólicos como la diabetes, depresión, inmunodepresión e infertilidad (Attia et al.,2019). ■

La OMS reconoce científicamente que la cronodisrupción CD de nuestro reloj biológico puede causar numerosos problemas de salud.