

# La evolución de la iluminación hacia los Melanopic Lux (EML)

"Un espacio implica la conciencia de las posibilidades de la luz." Louis Kahn

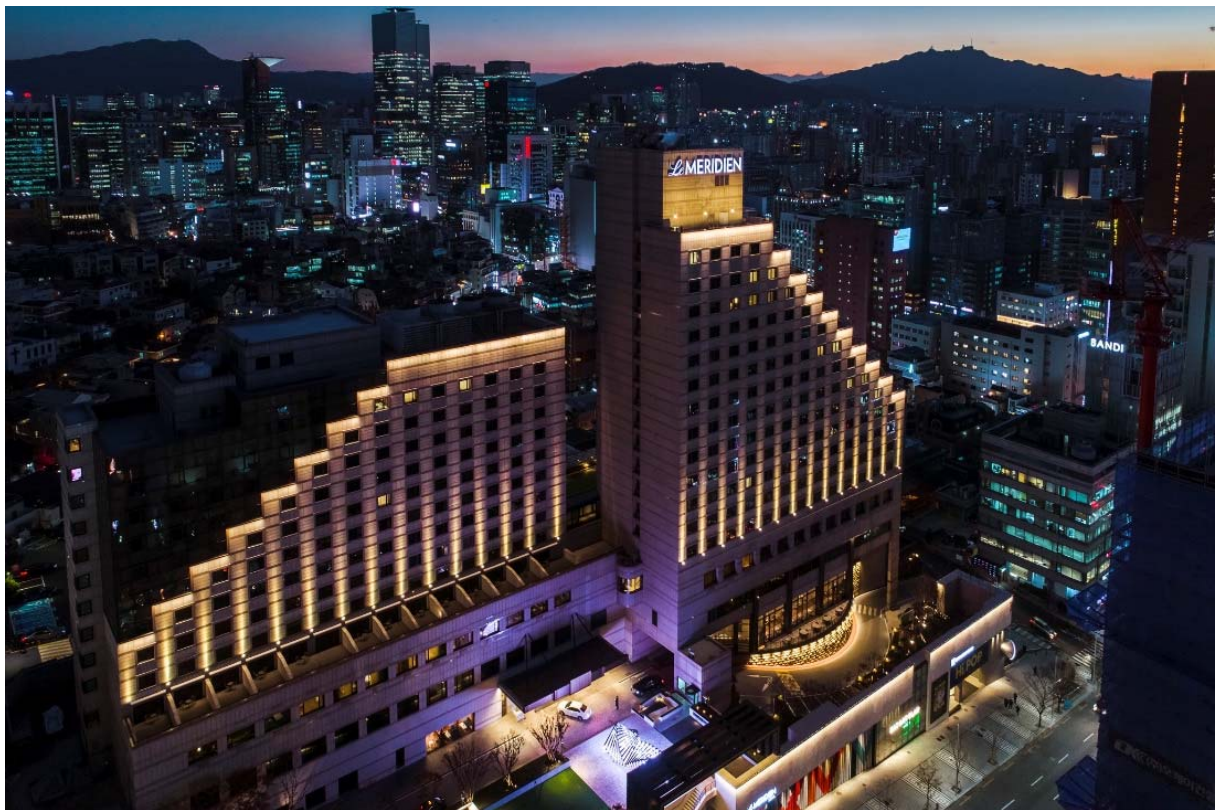
Eva Sanahuja

Lighting Design Departamento ERCO. 2018

El hombre se ha relacionado con la naturaleza, haciendo uso de ella para su supervivencia. En el periodo Neolítico, a través del desarrollo de herramientas de piedra, comienza la revolución agrícola, donde se produce el inicio del dominio del hombre sobre su entorno. A partir de ese momento se produce una desconexión con el entorno. La evolución de una arquitectura invasiva y poco respetuosa con el entorno, que explota ilimitadamente los recursos naturales, la industrialización y la urbanización son algunas de las causas de la separación del hombre con la naturaleza.

El daño ecológico producido por una arquitectura invasiva se ha demostrado que tiene efectos sobre la salud y el bienestar del hombre produciendo un desequilibrio entre naturaleza y el ser humano.

Uno de los desequilibrios principales se produce con los cambios en los ciclos circadianos debido al uso indiscriminado de la luz eléctrica que ha modificado artificialmente el efecto día-noche.



ERCO.Hotel Le Méridien, Seúl.

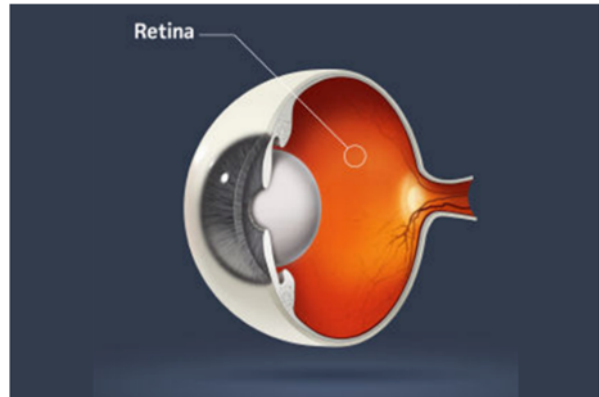
Los ritmos circadianos regulan los cambios en las características físicas y mentales que ocurren en el transcurso de un día. La palabra circadiano proviene de las palabras "circa" (alrededor) y "diem" (día). El ciclo circadiano se regula con el ciclo de la luz solar y este influye en los ciclos de sueño-vigilia, la secreción hormonal, los hábitos alimentarios y la digestión, la temperatura corporal, y otras funciones importantes del cuerpo. El componente azul de la luz solar es responsable de inhibir o de estimular la secreción de melatonina, la hormona asociada al sueño. La luz de la mañana más rica en luz azul inhibe la hormona melatonina y fomenta la actividad de cortisol, la hormona del estrés. De este modo aumenta el estado de atención de las personas, su capacidad de concentración y su sensación de bienestar general. Con el transcurso del día el color de la luz adquiere un tono más cálido, lo que produce una inversión de estos efectos y el ser humano se relaja en las horas del anochecer y se prepara para la fase de sueño.

Con la introducción de la electricidad el ritmo natural de luz diurna es modificado artificialmente, produciendo desajustes en los ciclos circadianos. Modificando la producción de melatonina, que suele

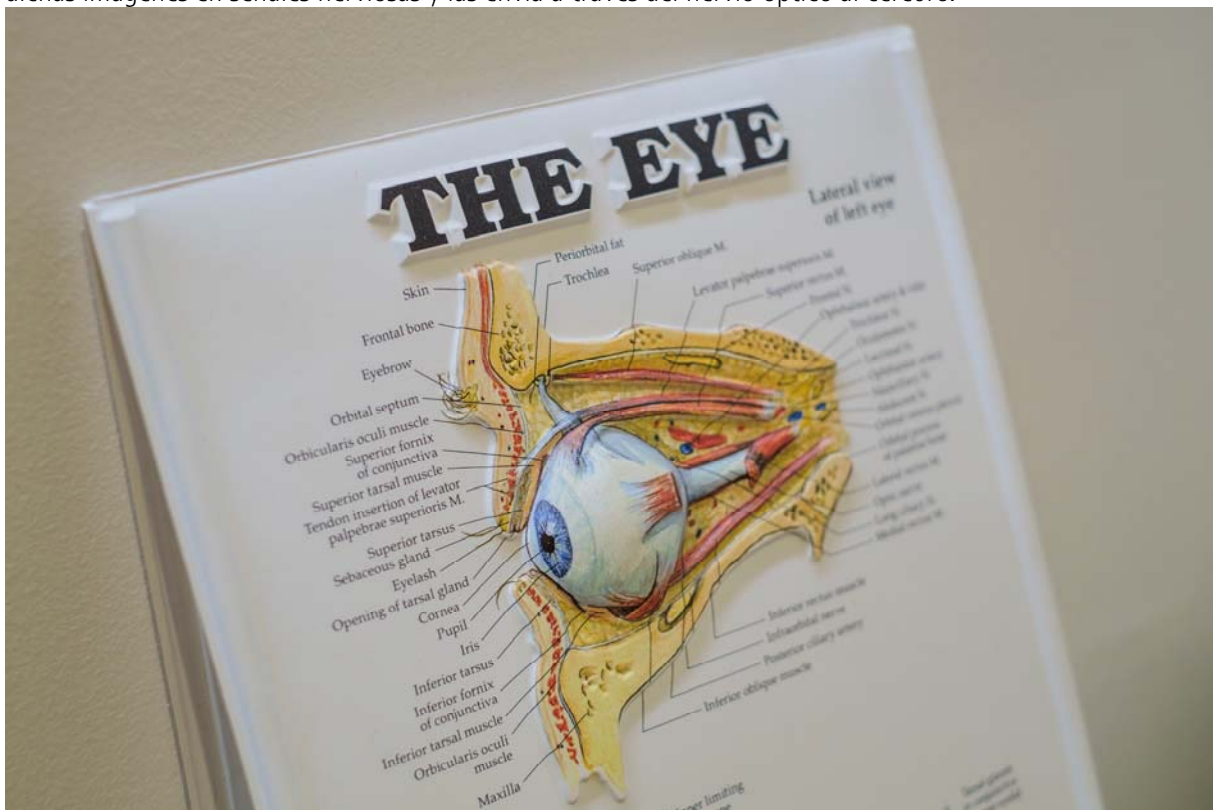
aumentar cuando oscurece, además de modificaciones en el hipotálamo que responde a la luz. El hipotálamo controla los cambios en la temperatura corporal y la presión arterial que ocurren durante el sueño. Los ritmos irregulares se han relacionado con varias afecciones médicas crónicas, como trastornos del sueño, obesidad, diabetes, depresión, trastorno bipolar y trastorno afectivo estacional.

### ¿Pero cómo responde el ojo a la distinta calidad y nivel de luz (sea natural o artificial)?

Los ojos son los órganos sensoriales que tienen la función de llevar a cabo la visión, mediante la cual podemos percibir los objetos y sus movimientos, contornos y colores. En los vertebrados el ojo está compuesto por la esclera, la córnea, la pupila, el iris, la lente, el cuerpo ciliar y la membrana coroidal. De entre todos estos tejidos destaca en importancia la retina. La retina se compone de seis clases de células nerviosas: los fotorreceptores, bastones y conos, y las interneuronas retinianas: células horizontales, bipolares, amacrinas y ganglionares, que son las neuronas de proyección hacia el encéfalo.



La Retina es la capa de tejido sensible a la luz, se ubica en la parte interna del ojo y actúa como la película de una cámara. Las imágenes pasan a través del cristalino del ojo y son enfocadas en la retina. La retina convierte dichas imágenes en señales nerviosas y las envía a través del nervio óptico al cerebro.



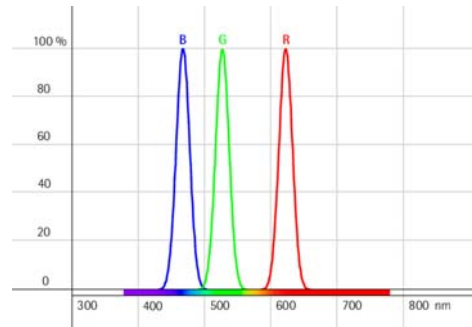
En la retina existen células fotosensibles:

- Conos: Responsables de la visión del color, visión fotópica. Existen tres tipos diferentes de conos, cada uno de ellos es sensible de forma selectiva a la luz de una longitud de onda determinada, verde, roja y azul y son responsables de la definición espacial. Esta sensibilidad específica se debe a la presencia de tres sustancias llamadas opsinas:

La eritropsina tiene mayor sensibilidad para longitudes de onda largas, alrededor 560 nanómetros (luz roja).

La cloropsina para longitudes de onda medias de unos 530 nanómetros (luz verde).

La cianopsina mayor sensibilidad para longitudes de onda pequeñas, unos 430 nanómetros (luz azul).



- **Bastones:** Responsables de la visión escotópica, responsables de la visión en una baja condición de luminosidad, no son sensibles al color y generalmente solo podemos distinguir los colores en la región verde-azul. Contienen rodopsina, que es una proteína que presenta una mayor sensibilidad a las longitudes de onda cercanas a 500 nanómetros, es decir, a la luz verde azulada.

Pero alrededor del año 2000 el equipo del neurocientífico David Berson de la universidad Brown descubrieron que la proteína melanopsina, ubicada en el ojo, permitía sincronizar los ciclos circadianos entre la salida del sol y la puesta. Esta proteína era más sensible a la luz azul y que reaccionaba con el brillo. Su trabajo fue sorprendente: los bastones y los conos no son las únicas células fotosensibles del ojo. Se descubrió que la proteína melanopsina, jugaba un papel clave en el funcionamiento interno de las células del ojo llamada células fotosensibles ganglionares de la retina, o ipRGCs. De esta manera, las células actúan como un fotoreceptor adicional a los clásicos conos y bastones, la llamada la visión mesópica. El proceso de adaptación en las ipRGCs es, no obstante, más débil y lento que en los bastones y conos.



ERCO.Modelo Lucy

El hallazgo, realizado por científicos de la Universidad Brown, prueba que el ojo tiene sistemas complementarios de señalización cerebral. Los bastones y conos comunican rápidamente con señales que nos permiten detectar objetos, colores y movimiento. Pero las ipRGCs actúan de modo diferente. Envían señales acerca del brillo global, comunicando al cerebro cuándo es de noche y cuándo es de día. Estas células, cuyo número no supera las 2.000 en el ojo, tienen una conexión directa al cerebro, enviando mensajes eléctricos a un área que regula la pupila y a otra que controla el reloj biológico. Las ipRGC regulan la sincronización de los ritmos circadianos en respuesta de los niveles de luz del ambiente (fotosincronización) mediante la supresión de melatonina y modulando el ritmo biológico relacionado con el sueño. La conclusión es que las ipRGC están involucradas en funciones relacionadas con procesos dependientes de la luminosidad ambiental pero no llevan a la formación de imágenes, y estas funciones se han denominado funciones extravisuales de la retina.

De esta forma se concluyó que la Melanopsina permite sincronizar los ritmos diarios del organismo para la salida y puesta del sol. Permitiendo controlar el estado de alerta, el sueño, la producción de hormonas, la temperatura corporal. La sensibilidad espectral de melanopsina, que es el pigmento de ipRGCs, alcanza la absorbancia máxima cerca de los 480 nanómetros (nm), que iguala el color de un cielo azul al mediodía. Esta conexión entre el ojo y el brillo de la luz diurna puede verse alterado artificialmente. Cuando modificamos las condiciones naturales de la luz, modificando los ciclos día-noche, se producen desajustes hormonales sobretodo en personas que trabajan en espacios cerrados o alejados de la iluminación natural, como por ejemplo hospitales, escuelas, oficinas, centros comerciales, etc.

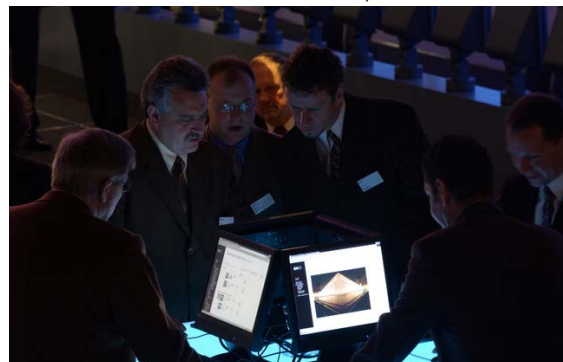
### Luz artificial biológica

La luz diurna es la mejor para ser el humano biológicamente, por este motivo debemos volver a establecer una conexión más directa con la naturaleza. Se está incorporando en arquitectura el concepto de biofilia, un término que intenta acercar la naturaleza al ambiente edificado. (La biofilia es nuestro sentido de conexión con la naturaleza. El primero en usar el término fue Erich Fromm, del libro "*Del arte de escuchar*", 1991.) La biofilia se fundamenta en intentar conectar interior con exterior. La iluminación artificial biológica debería intentar simular el ritmo luminoso natural del sol con los diferentes colores que adopta la luz y proporcionar una iluminación lo más parecida a la iluminación solar en espacios interiores.



ERCO. Residencia privada de Stephen Yeomans y Anita Findlay, Lewes

La iluminación artificial debería estimular el proceso biológico fomentando la regulación hormonal y simulando la falta de radiación solar. La insuficiente exposición a la luz solar de la mayoría de los seres humanos puede causar desordenes fisiológicos. Por ejemplo, cuando las personas son sometidas a luz blanca artificial rica en azul durante la noche, como la producida por pantallas o dispositivos electrónicos, las células ganglionares fotosensibles de la retina indican al cerebro que detenga la producción de melatonina. Tales perturbaciones pueden generar amplios efectos en ciclos de sueño y vigilia, patrones de alimentación, metabolismo, estado de alerta mental, presión arterial y ritmos cardiacos, además de la producción de hormonas, temperatura, patrones de humor y sistema inmunológico.



Uno de los motivos por lo que los ancianos tienen más problemas para dormir es porque los ojos pierden sensibilidad a la luz azul con la edad.

¿Pero de qué herramientas disponemos para poder medir o evaluar una iluminación artificial biológica adecuada? Como se trata de un tema relativamente reciente hay cierta controversia en el mundo académico sobre las métricas, pero el objetivo final es en cualquier caso concienciar sobre el impacto que la luz tiene sobre la fisiología humana y proporcionar un marco para comprender cómo las características de la luz (espectro, intensidad y duración) afectan al ser humano.

Han aparecido diferentes tablas para medir el efecto de la iluminación como, por ejemplo: el estímulo circadiano (CS) desarrollado en el Lighting Research Center en Rensselaer Polytechnic ([www.lrc.rpi.edu](http://www.lrc.rpi.edu)) o el cálculo de los melanopic lux (ML) desarrollado en la Universidad de Manchester.

La Universidad de Manchester propuso por primera vez la curva de iluminancia "melanopic" en 2011 que se relacionaba directamente con la melanopsina. El lux melanopic equivalente (EML) fue incorporado al estándar WELL.

### Well Building Standard

El concepto WELL Building Standard es complementario al código de clasificación LEED®. La certificación LEED asegura el cumplimiento de unos estándares de sostenibilidad y eficiencia energética, el WELL Building Standard garantiza que el espacio certificado trabaja por la salud y bienestar de los ocupantes.

Ambas certificaciones son perfectamente complementarias y aplicables tanto a edificios enteros como a espacios empresariales dentro de los mismos. Cuando WELL y LEED se implementan en el mismo proyecto el rendimiento del edificio es optimizado en beneficio del medio ambiente y de la salud de los ocupantes.

La certificación WELL consta de 7 áreas de actuación, incluyendo cada una de ellas una serie de medidas. Algunas de estas medidas son obligatorias y otras opcionales para la consecución de la certificación. Éstas son las 7 áreas del WELL Building Standard y los objetivos de cada una de ellas:



Aire: eliminación de los contaminantes del aire, prevención de la contaminación y purificación del aire

Agua: filtración, tratamiento y localización estratégica de puntos de agua

Alimentación: establecimiento de opciones alimenticias saludables y promoción de una alimentación sana

Luz: acceso a luz natural, y mejora de la calidad de la luz artificial

Ejercicio: promoción e incorporación de actividades que permitan llevar una vida activa

Confort: adecuación del espacio para maximizar el confort térmico, acústico, olfativo y ergonómico

Mente: establecimiento de políticas de empresa que contribuyan a la reducción de estrés y mejorar el bienestar mental y emocional de los trabajadores.

Ferrier Hodgson Office.Barangaroo.Sydney.ERCO

En el apartado de iluminación aporta un nuevo enfoque que no solo tiene en cuenta la intensidad y eficiencia lumínica sino además valora la calidad de la iluminación para fomentar en la medida de lo posible los efectos de la luz en el ciclo circadiano. Se basa en nuestra conexión biológica con la naturaleza y los efectos positivos que el acceso adecuado a la luz de calidad puede tener en nuestro bienestar.

WELL como estándar de construcción propone un parámetro, una métrica circadiana, el lux melanopic equivalente (EML), como requisito / precondition para lograr la certificación. Para poder valorarlo establece una tabla de niveles, Equivalent Melanopic Lux (EML), como una medida de Circadian Light Design (CL). una

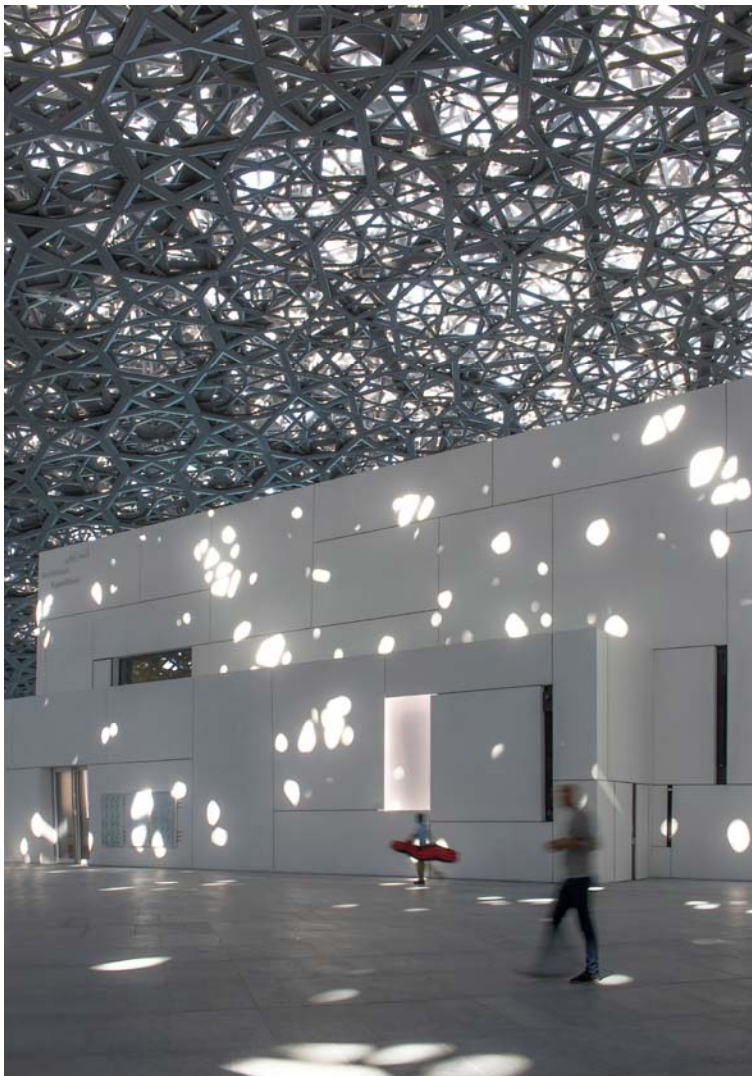
medida alternativa que valora los efectos biológicos de la luz en los seres humanos, propuesta que se pondera para los ipRGC en lugar de para los conos. La verificación del EML se mide en el plano vertical a nivel de los ojos del ocupante.

### ¿Pero que son los melanopics?

La visión melanópica reconoce que hay más cosas en juego que la percepción puramente visual, también está el impacto biológico de la luz. La hormona melatonina es la clave de nuestro patrón de vigilia y sueño (nuestro ritmo circadiano). La producción de esta hormona se suprime durante el día por un entorno de luz naturalmente rico en azul.

El melanopic lux, introducido y adoptado en estándares de construcción como WELL, para evaluar el impacto de la luz en la salud y el bienestar humano, se engloba en un nuevo concepto lumínico más adecuado a los ritmos biológicos humanos, el Human Centric Lighting (HCL).

El término **Human Centric Light** (Iluminación centrada en el ser humano) es una denominación lumínica que utiliza la iluminación para influir en algún aspecto del confort humano, la salud o el rendimiento mediante la modificación de la intensidad de la luz, la distribución espacial y angular, y el contenido espectral para introducir beneficios visuales, biológicos y emocionales.



ERCO. Museo Louvre.Abu Dhabi

Human Centric Light engloba: Ritmos circadianos, Estado anímico, Agudeza visual, Percepción, Ahorro de energía y Sostenibilidad, Productividad y Rendimiento.

Las áreas de aplicación para una iluminación centrada en el ser humano son muy diversas y abarcan desde el ambiente doméstico, pasando por la oficina hasta la residencia de personas mayores. Las soluciones de iluminación para el mundo de oficinas y el sector del área de la salud, tiene efectos positivos. Los análisis de coste-beneficio son otro aspecto interesante e importante para estas áreas. Así pues, la implementación de una solución de iluminación biológica mejora los resultados en el rendimiento laboral, mantiene trabajadores motivados, así como una reducción de las bajas por enfermedad, que se traduce en un ahorro de los costes. En el área de la salud, el efecto de una iluminación correcta puede suponer un ahorro en puestos de trabajo y el aumento de bienestar, así como una eventual reducción del tiempo de los procesos de curación de los pacientes o de las personas que requieren atención especial.

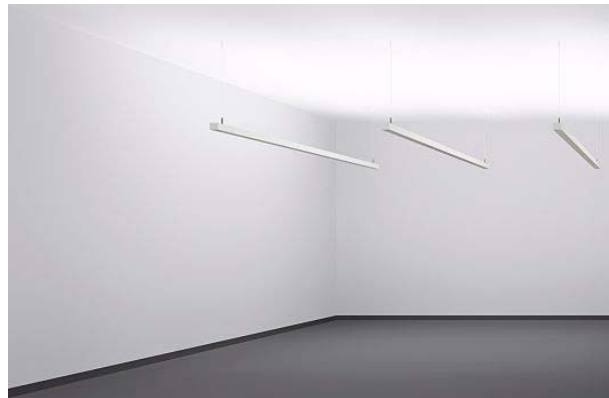
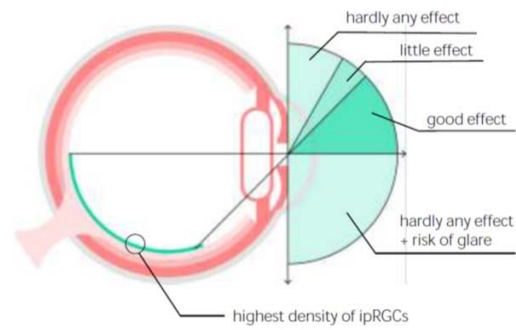
Para maximizar de forma correspondiente el efecto de luz natural con iluminación artificial, es necesario tener en cuenta aspectos como la intensidad y la dirección de la luz. Tres factores (color, intensidad y dirección de la luz con la variación horaria de la misma) se tienen que tener en cuenta a la hora de realizar una planificación de iluminación para reproducir con la mayor precisión posible los efectos de la luz solar.

Estos estudios han revelado cómo el tiempo, la intensidad, la duración y la longitud de onda de la luz afectan el reloj biológico humano.

## 1-Dirección:

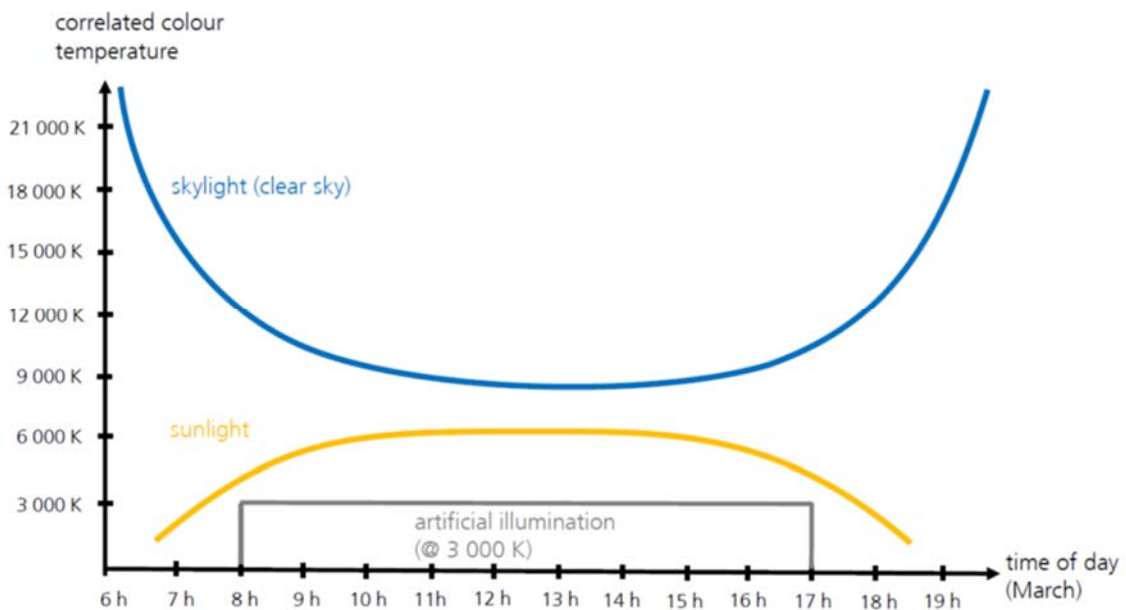
La radiación difusa del cielo ocupa una parte significativa del campo visual humano.

Lo adecuado para una iluminación artificial biológica sería la proyección de una gran superficie en la mitad superior de la estancia, puesto que este tipo de iluminación es la que mejor alcanza la mitad inferior de la retina (la mayor parte de ipRGC se concentran en la parte inferior de la retina). Por contra, en los proyectos lumínicos suele valorarse la iluminación directa sobre las superficies de trabajo obviando la iluminación indirecta.



## 2-Color:

La variabilidad de la temperatura Kelvin a lo largo del día. Temperaturas de color más cálidas en el amanecer y anochecer alrededor 2000K, y temperaturas de color más frías con la luz diurna generada por el cielo azul transcurre un rango de entre 5000K-6000K días despejados y 10.000K para cielos en días muy nublados. Pero lo que ocurre en la realidad es que cuando estamos en ámbitos interiores cerrados solemos estar con una temperatura de color estática.



*Temperatura color exterior en Lüdenscheid en Marzo, comparativa con un interior.*

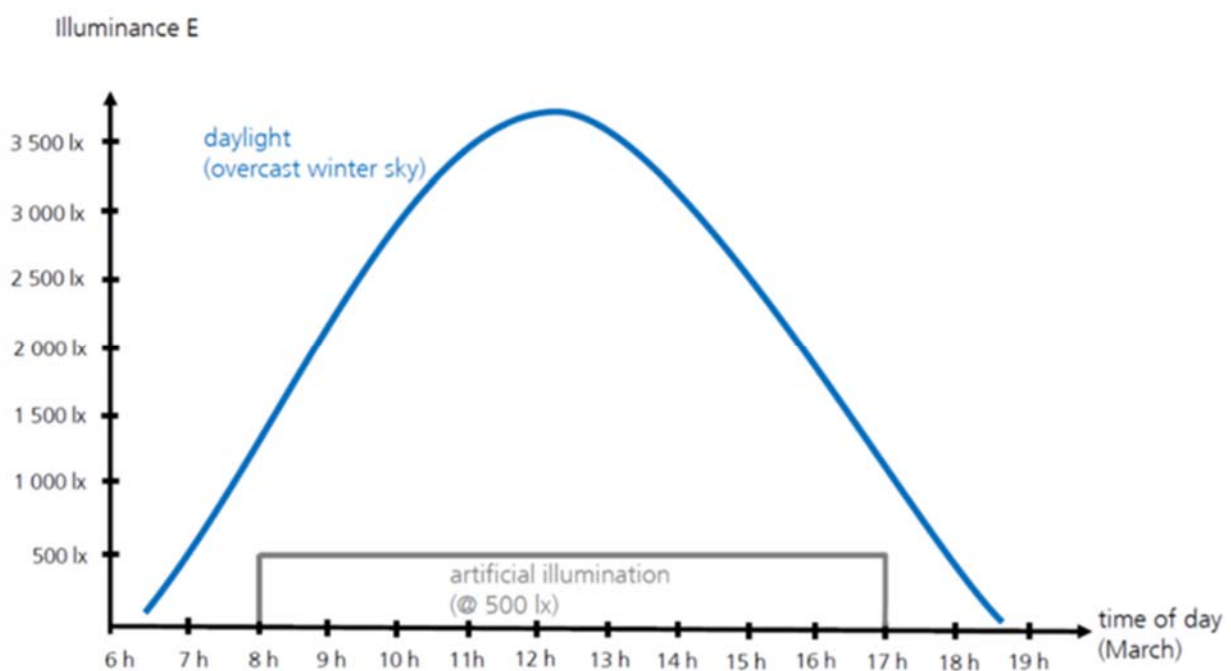
### 3 –Intensidad:

Los dos extremos entre los que varía nuestra exposición a la luz en un entorno natural son:

- Luminosidad de noche: oscila entre 0.0001 lux (cielo nocturno nublado) y 0.25 lux (luna llena en noche despejada).
- Luminosidad de día: oscila entre 3.500 lux y más de 100.000 lux, dependiendo de la nubosidad, estación del año y ubicación.

Es decir, tenemos diferencias enormes entre la luminosidad que experimentamos por el día y por la noche. Se produce una variabilidad de la intensidad de luminosidad durante el ciclo día.

Por el contrario, con la luz artificial mantenemos una intensidad media estable, que oscila entre los 50 lux de una habitación poco iluminada por la noche y los 300 – 800 lux de luz más intensa de oficina.



*Comparativa iluminación diurna exterior en Lüdenscheid en Marzo con la iluminación interior*

### Human Centric Lighting (HCL)

En base a estos tres parámetros el objetivo, de un proyecto lumínico **Human Centric Lighting** en ERCO, es mejorar significativamente la situación de iluminación para un mayor bienestar y capacidad de rendimiento, así como lograr una sincronización óptima con el entorno exterior.

Este nuevo concepto (HCL) deberá empezar a incorporarse a la práctica fotométrica, para poder realizar proyectos lumínicos adecuados según las configuraciones y los estándares de la iluminación circadiana (CL) o del melanopic lux (EML). Básicamente, se deberá incorporar nuevos parámetros estandarizados que fomenten una iluminación más adecuada a niveles biológicos si queremos proyectos lumínicos en los que prevalezca el confort y el bienestar conjuntamente con iluminancias adecuadas.

Actualmente, y basándose en estos principios, disponemos del informe técnico DIN 67600, publicado en 2013 en Alemania, con recomendaciones para una iluminación artificial que tiene en cuenta el efecto biológico beneficioso del ciclo circadiano. Este documento proporciona recomendaciones de planificación para espacios, que pueden ser lugares de trabajo o no. También se incluyen áreas en las que los usos se pueden superponer o mezclar. Establece que, al diseñar iluminación biológicamente efectiva, se debe usar la luz del día tanto como sea posible y con preferencia. Sin embargo, debido a que no siempre hay suficiente luz natural,



las instalaciones de iluminación artificial pueden actuar como un sustituto total o parcial. Este documento proporciona recomendaciones generales para posibles implementaciones y también describe aplicaciones específicas. Este documento no especifica ningún requisito con respecto al uso de la luz para provocar un cambio intencional en la fase circadiana y solo contiene consejos generales de diseño para los lugares de trabajo donde se lleva a cabo el trabajo por turnos.

Los efectos biológicos que este documento busca es lograr la relación con luz día, iluminación artificial o una mezcla de las dos.

Así que cuando hablamos de iluminación melanópica, teniendo en cuenta que se trata de unos parámetros relativamente recientes y que seguramente evolucionarán y sufrirán cambios, nos referimos actualmente a parámetros de estimación como:

### WELL Building Standard

Equivalente Melanopic Lux (EML), una métrica alternativa propuesta ponderada al ipRGCs en lugar de a los conos (niveles lumínicos en lux según la UNE 12464).

Niveles de Melanopic Lux (EML) en lugares de trabajo, valoración en vertical a 1,2 m por encima del nivel del suelo durante al menos 4 horas / día por cada día del año. Ver tabla Melanopic ratio:

| <b>EML = visual lux x melanopic ratio</b> |                      |                        |
|---|----------------------|------------------------|
| <b>CCT (K)</b>                            | <b>Light Source</b>  | <b>Melanopic Ratio</b> |
| 2950                                      | Fluorescent          | 0.43                   |
| 2700                                      | LED                  | 0.45                   |
| 2800                                      | Incandescent         | 0.54                   |
| 4000                                      | Fluorescent          | 0.58                   |
| 4000                                      | LED                  | 0.76                   |
| 5450                                      | CIE E (Equal Energy) | 1.00                   |
| 6500                                      | Fluorescent          | 1.02                   |
| 6500                                      | Daylight             | 1.10                   |
| 7500                                      | Fluorescent          | 1.11                   |

Source: WELL Building Standard® reference Tables L1 and L2 (p190-192)

WELL provides this example: If incandescent lights provide 200 lux in a space, they will also produce 108 equivalent melanopic lux (incandescent light lux x melanopic ratio = 200 x 0.54 = 108 EML). If daylight is modeled to provide the same visual brightness (200 lux), it will also provide 220 equivalent melanopic lux (200 x 1.10 = 220 EML).

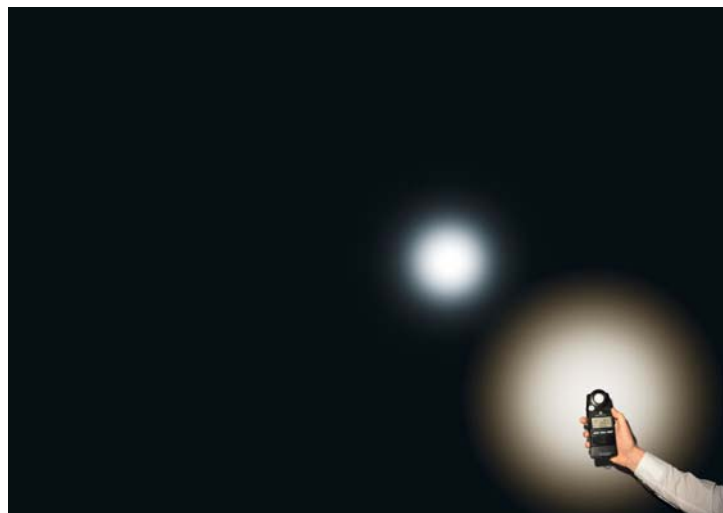
### DIN SPEC 67600 (Alemania)

Diurno: al menos 250lux / 8000K a nivel del ojo preferiblemente por la mañana

Tarde: como máximo 50lux / 2700K a nivel del ojo

En 2015 en Alemania se amplía estas recomendaciones para la iluminación basada en Human Centric Light con la DIN SPEC 5031-100:2015-08.

También disponemos de herramientas como un fotospectrómetro para verificar si el sistema instalado cumple con la intención del diseño. La intención del diseño no es únicamente el nivel de iluminación en una superficie de tarea, sino que se especifica en el estímulo circadiano o lux melanopic (EML) en el ojo de los ocupantes durante intervalos específicos a lo largo del ciclo de 24 horas. Un fotospectrómetro mide la intensidad (lux o foot-candles) y el contenido espectral de la luz (SPD). CS o ML / EML no se pueden calcular sin esta información y, por lo tanto, los objetivos de diseño no se pueden validar.



En ERCO somos conscientes que los conceptos lumínicos y nuestra forma de entender la iluminación están cambiando. La importancia de la luz ha evolucionado más allá de cómo vemos las cosas: comenzamos a comprender que la luz tiene un gran impacto en casi todos los aspectos de la función humana. La investigación básica sobre los efectos biológicos de la luz avanza exponencialmente. Sin embargo, existe la necesidad de más ensayos prácticos sobre los efectos de la iluminación en el ser humano, pero debemos reconocer que estamos al inicio de una nueva evolución técnica. Los fabricantes de luminarias deberán estar preparados para dar al mercado el apoyo necesario y ofrecer productos y soluciones que se adapten a ella. Desde la incorporación del LED en el mundo de la iluminación disponemos de la tecnología para ajustar el color, variar la intensidad, cambiar la dirección, las formas de plantear la iluminación se han ampliado. Por eso la luz artificial debería poder imitar de manera más eficiente al sol y devolvernos modelos más cercanos a la luz natural, evitando la baja calidad de la luz artificial moderna respecto a la luz natural. La calidad y también la poca variabilidad.



Luminarias como el modelo Comprar Led de ERCO suspendida que incorpora un módulo indirecto con tecnología «tunable white» que permite modificar la temperatura de color y modificar el rango lumínico según el ciclo diurno, son un ejemplo. Este tipo de luminarias permiten modificar mediante un sistema de control DALI la intensidad y la temperatura de color de forma indirecta adaptándose a proyectos lumínicos biodinámicos.

La luz desde debe permitir la vista, la seguridad y la orientación. Pero además la luz puede hacer más que facilitar la visión. La luz tiene el poder de fomentar la concentración, relajarse, aumentar el estado de alerta, el rendimiento cognitivo, el estado de ánimo, y mejorar el ciclo de sueño-vigilia de las personas. Podemos modificar la luz artificial con la tecnología LED no solo para ahorrar energía, sino que además nos permitirá la combinación de excelentes beneficios visuales, biológicos y emocionales. A través del diseño lumínico podemos evocar una respuesta emocional: aumentar las sensibilidades.



The store X Limited. ERCO

En ERCO sabemos que estamos en el comienzo de una evolución de la iluminación impulsada por la convergencia de oportunidades técnicas y la conciencia renovada del impacto de los edificios en la salud y el bienestar de los ocupantes. Proporcionar luz únicamente para las necesidades y tareas visuales no aprovecha toda la capacidad de los sistemas de iluminación de hoy y de mañana. La ciencia y la tecnología están disponibles, para poder modificar, evolucionar y mejorar la luz en cualquier ámbito.

## Bibliografía

- Biophilia and the WELL Building Standard® Catie Ryan. July 22, 2015. Terrapinbrightgreen.com  
Melanopsina juega un papel clave en el funcionamiento interno del ojo. Enero 2005. News-medical.net  
Hacia una iluminación saludable. Karolina M. Zielinska-Dabkowska. Febrero 2018. Nature Research Revue  
Regreso al futuro: Human Centric Lighting. Annette Steinbusch. Ledvance.es  
Circadian Lighting Solutions Are Real and Important—Why Aren't They Being Used?. Edward Clark, Natalia Lesniak. Metropolis Magazine  
Human-centric lighting in the workplace: It's not just about color temperature. Mark Halper November 8, 2017. Leds Magazine  
Rythme circadien : état de l'art métrique de l'œil. Thomas Merelle. 6 Juin 2017. Light zoom lumiere  
Misteriosas células sensibles del ojo. Carlos Martin. 2006. Nova ciencia.  
Mecanismo de fototraducción de la melanopsina en las células ganglionares retinianas intrínsecamente fotosensibles (ipRGC). Carlos Augusto Domínguez-Solís y Jorge Alberto Pérez-León. Departamento de Ciencias Químico-Biológicas, México