



PRIMERA PARTE

□ □ □ □ ■ **1. ANTECEDENTES**

1.1 INTRODUCCIÓN

La relación del ser humano con su entorno natural se da a través de complejos procesos de intercambio de energía a diferentes niveles, comenzando por nuestro propio cuerpo, que responde a las variaciones del ambiente mediante procesos biológicos de adaptación. En otro nivel, la vestimenta y la transformación de energía contribuyen para que consigamos mantenernos dentro de la zona de confort ambiental.

En este sentido, la conformación de los espacios construidos es muy relevante, ya que podemos considerarla como una capa más de piel que nos protege de las condiciones ambientales exteriores. Podemos decir entonces que la arquitectura, en tanto que aglutinadora de espacios construidos, es una defensa frente a condiciones ambientales adversas, que ha permitido a las personas diversificar sus actividades y desarrollarlas en un ambiente modificado al interior de los edificios.

Es por ello que algunos especialistas utilizan un Marco de referencia Tri-Sistémico [1] –que incorpora tres sistemas básicos: el ambiente, el usuario y el objeto arquitectónico– cuando describen dicha relación.

Las energías naturales presentes en el ambiente –luz, sonido, calor– interactúan en él y aunque los parámetros ambientales varían de una región a otra del planeta, siempre estarán presentes unas condiciones lumínicas, acústicas y térmicas que el arquitecto debería tomar en cuenta a la hora de proyectar, junto con los parámetros de confort del usuario, puesto que el organismo del ser humano reacciona física, fisiológica y psicológicamente a los estímulos exteriores.

A través de la historia ha sido básicamente la tecnología, la disponibilidad de materiales y los valores simbólicos, los que han determinado las características de los objetos arquitectónicos.

Si analizamos la configuración de un edificio independientemente de la época en que haya sido construido (**Figura 1-1**), veremos los elementos que lo conforman interactúan con el ambiente y generan unas condiciones ambientales interiores distintas a las exteriores, que varían según las características físicas de los materiales con que fueron hechos. Por ejemplo un muro de piedra puede aislar acústica y térmicamente, pero no permite la entrada de luz, sin la cual el usuario no percibiría el espacio.



Figura 1-1. Castillo de piedra S XIV. The Bodiam Castle, Sussex, Inglaterra.

También los avances tecnológicos del control de la energía han influido en dicha configuración; desde que el hombre utilizó por primera vez el fuego como una fuente de energía que le proporcionaba calor, hasta nuestros días en que usamos el gas en los sistemas de calefacción, la electricidad para producir luz, calor o trabajo, ha habido una serie de adelantos que han permitido a nuestra especie seguir sobreviviendo y poblando el planeta.

La diversidad de actividades mencionada anteriormente es posible gracias a ello. Se puede habitar casi cualquier parte del mundo, bajo las condiciones climáticas más adversas, gracias a la tecnología de la construcción y el control de la energía y al nivel de adaptación del ser humano por la supervivencia **(Figuras 1-2 y 1-3)**.

Sin embargo encontramos que gran parte del desarrollo tecnológico en estos dos apartados se ha dado en un lapso de tiempo breve con respecto a la aparición de nuestra especie sobre la Tierra, lo cual nos enfrenta a condiciones nuevas con diferentes periodos de adaptación y pareciera que nuestro organismo no está del todo preparado para ello.



Figura 2-2. Israel. Ciudad de Belem. Fuente: © ASAP / Nalbandian. www.israelimages.com



Figura 2-3. Población Esquimal. Olivera, M. Fuente: www.tierraspolares.es

El organismo humano ha desarrollado mecanismos homeostáticos que interactúan con el ambiente exterior a través de un "*capital finito de energía de adaptación*" [2], pero se dan situaciones extremas que no pueden ser controladas. A la batalla que se libra para conseguir un equilibrio en este intercambio de energía, los biólogos la llaman Síndrome General de Adaptación.

Se ha demostrado cómo los espacios mal diseñados, en el sentido de estar mal ventilados y deficientemente acondicionados térmica, lumínica y acústicamente pueden ocasionar daños en la salud de los usuarios.

Es entonces cuando el equilibrio del marco tri-sistémico se rompe, y encontramos términos como el de Síndrome del Edificio Enfermo (Sick Building Syndrome) –enfermedad reconocida por la Organización Mundial de la Salud a partir de 1986– que describe los padecimientos de los trabajadores debidos a un entorno de trabajo donde las condiciones ambientales no están bien resueltas.

En el campo de la investigación hay diversas maneras de abordar los problemas que impiden el equilibrio entre los componentes del marco tri-sistémico. Debemos pensar que existe una gran complejidad en torno a los intercambios de energía usuario-ambiente-arquitectura y que el concepto de confort del ser humano, pese a ser un elemento objetivo y medible [3] lleva una carga subjetiva implícita que dificulta generalizar las condiciones en las cuales el usuario se encontraría comfortable.

Actualmente hay muchos avances respecto al estudio del marco tri-sistémico analizados bien sea a través de la perspectiva global, o de cualquiera de sus componentes. Podemos encontrar literatura encaminada a buscar soluciones desde diferentes puntos de vista, siempre teniendo como punto de partida las características del ambiente, su influencia sobre el usuario o la arquitectura como defensa contra el exterior.

Dentro de este cúmulo de trabajos hay un tema que concierne al ambiente lumínico y lo que se ha dado en llamar efectos no ópticos de la luz (nonvisual effects of light). Si bien los ambientes térmico y acústico e incluso el lumínico –desde el punto de vista de la percepción visual–, han sido muy estudiados, queda aún mucho por investigar acerca de los efectos antes mencionados, para los cuales el ambiente lumínico es fundamental.

Cabría antes que nada, hacer una descripción de los conceptos que involucran tanto el ambiente lumínico, como los procesos visuales y no visuales del organismo humano. Del mismo modo consideramos válido explicar lo que se sabe y se toma en cuenta hasta el momento, respecto a las pautas de diseño del ambiente lumínico.

1.2 AMBIENTE LUMÍNICO

1.2.1 Luz natural y luz artificial

La luz natural y la artificial componen el ambiente lumínico de los espacios (**Figura 1-4**). Entendiéndose como luz el concepto que en lenguaje corriente se utiliza para definir a la radiación electromagnética capaz de estimular al ojo humano, la primera es aquella que proviene del ambiente natural, es decir del Sol; puede ser directa, reflejada por las superficies exteriores (indirecta o reflejada), o bien reflejada por el resto del cielo (difusa)–. La segunda es aquella que proviene de una fuente artificial, y se produce a través de una transformación de la energía ya sea por combustión o a partir de electricidad (incandescencia, luminiscencia).

El ambiente lumínico es fundamental en el sistema de percepción de los espacios junto con el ojo humano; gracias a esta relación los seres humanos podemos percibir los objetos, volúmenes y formas que nos rodean. Los juegos de luz y sombra nos proporcionan información acerca de las características de dichos objetos y de esta manera nos podemos desenvolver en nuestro entorno físico.

Se ha propuesto [4] que dependiendo del ambiente lumínico de un espacio, el ser humano puede:

- Orientarse en el espacio
- Desempeñar una tarea
- Sentir confort visual
- Modificar su ambiente y estado de ánimo
- Comunicarse socialmente
- Establecer un juicio estético
- Experimentar seguridad
- Tener salud y bienestar

Figura 2-4. Esta imagen muestra un espacio que combina luz natural y luz artificial. Fuente: Periódico La Vanguardia, suplemento magazine. 11 de noviembre 2001.



A partir de estos parámetros, en la actualidad se plantean las pautas de diseño de iluminación natural y artificial de los ámbitos construidos.

Primero diremos que a través de la historia, el ambiente lumínico ha jugado un papel fundamental en la configuración de los espacios. En la antigüedad, las personas desarrollaban sus actividades de acuerdo con la disponibilidad de luz natural y por lo tanto la ubicación de las entradas de luz (léase ventanas, lucernarios, claraboyas, etc.) determinaba la facilidad de percepción al interior de los edificios.

Y aunque ya en esos tiempos en ausencia de luz natural se utilizaban fuentes artificiales, como las antorchas, las velas o las lámparas de aceite, sus características eran bastante limitadas en el sentido de que no permitían realizar actividades en detalle sin provocar un gran esfuerzo visual.

La paulatina incorporación de nuevos elementos generada a partir de la Revolución Industrial determinó cambios importantes en el diseño arquitectónico de los espacios de trabajo y como causa de ello las 'nuevas' características lumínicas permitieron mejorar la percepción visual en los interiores.

Finalmente diremos que el alumbrado artificial tal como lo conocemos hoy en día ha se ha convertido en un elemento substancial para el ambiente lumínico en la arquitectura y el urbanismo.

Tomando en consideración lo anterior y de acuerdo con los objetivos planteados en este trabajo, nos enfocaremos sobre la contribución que ha representado la luz artificial para la generación de las actuales pautas de diseño.

1.2.2 Historia del alumbrado artificial

A continuación expondremos brevemente y de forma gráfica algunos de los avances más significativos que ha experimentado el alumbrado artificial en épocas anteriores y sobre todo, durante el siglo pasado.

Observemos en la **Figura 1-5** que los cambios más vertiginosos se han dado en un lapso breve de tiempo, a partir de la aparición de la lámpara de Edison a finales del siglo XIX. Entre el año 1879 y el 2000 transcurrieron sólo 121 años, durante los cuales el alumbrado artificial creció cuantitativa y cualitativamente.

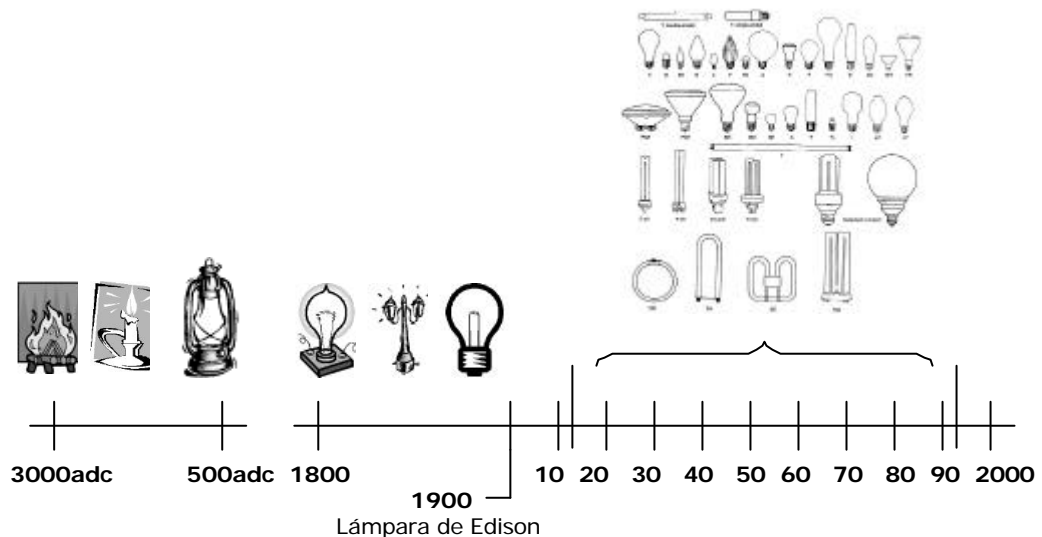


Figura 1-5. Esquema de la historia del alumbrado artificial a partir de las fuentes de luz.

Hoy disponemos de un mercado ilimitado de productos para la iluminación artificial que hace años hubiese resultado impensable. Las ventajas y desventajas que ello reporta se estudian hoy y muy probablemente se continuarán estudiando en el futuro próximo.

En este punto intentamos sensibilizar al lector de que no se trata sólo de realzar las cuestiones positivas del alumbrado artificial incorporado a nuestra vida diaria, como tampoco de desechar los avances que se han dado en materia de planeación y diseño. Básicamente creemos que se trata de retomar aquellas cosas que se han dejado de lado y proyectarlas hacia el futuro. Así como replantear los conceptos que conforman nuestra actual 'cultura de la luz'.

1.2.3 Cultura y desarrollo [5]

Al igual que otros avances tecnológicos, el alumbrado artificial contribuye con una mejora en la calidad de vida y la actividad social de los sujetos. Si bien es cierto que el alumbrado ha aportado beneficios, también es verdad que en su producción y puesta en marcha nos topamos con las repercusiones que provoca sobre el medio ambiente y la biología de las personas, que según estudios recientes en lugar de disminuir, se han incrementado de manera exponencial.

La '*cultura de la luz*', que para los especialistas significa el uso de la luz siempre, en todos los lugares y con niveles cada vez mayores, resalta la cantidad sobre la calidad; la oscuridad es un valor cultural negativo y la simplicidad del uso de la luz artificial relega el uso de la iluminación natural.

Estas condiciones, tan diferentes de las originales, determinan la necesidad de revisar otra vez la cuestión de los modelos del diseño y el uso de la iluminación artificial, ya que en las condiciones actuales nos proponemos alcanzar la percepción visual de ciertos espacios y objetos, pero no podemos detener ni los residuos, gastos de energía u otros conceptos que van más allá de fenómenos ópticos.

Por último también debemos involucrar el aspecto del desarrollo del alumbrado artificial en el ámbito mundial. Muchos de los conceptos aquí relatados no tendrían cabida en algunos países cuyas regiones ni siquiera cuentan con el servicio –se calcula que 2.000 millones de habitantes aún no tienen electricidad ni luz eléctrica (**ver Figura 1-6**) y así se ven forzados a utilizar iluminación por combustión como en tiempos anteriores–[6]. En este sentido cabría hacer un alto para repensar la dirección adecuada del alumbrado artificial, de cara a un desarrollo sostenible.

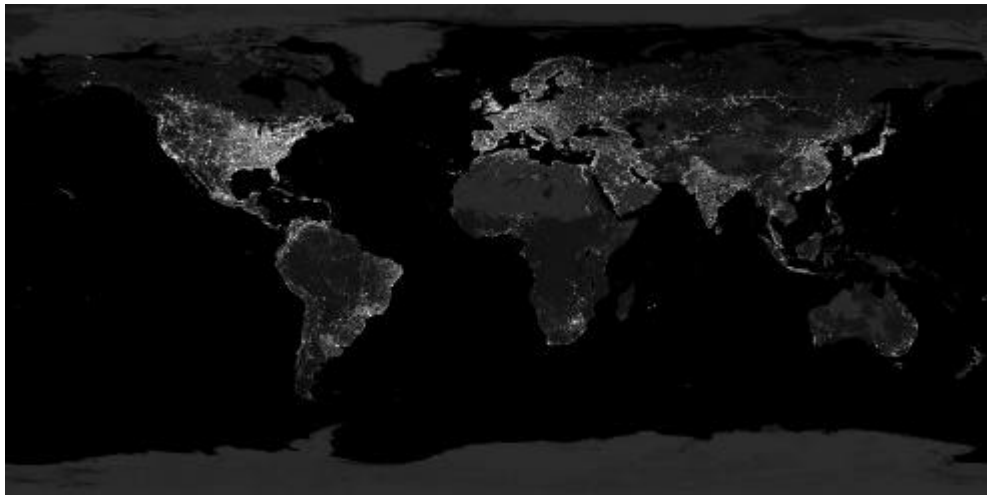


Figura 1-6. Composición de una imagen nocturna de la Tierra. Fuente: NASA GSFC. Craig Mayhew y Robert Simmon

1.2.4 Efectos ópticos y efectos no ópticos de la luz

1.2.4.1 Introducción

La Luminotecnia basa sus estudios sobre la luz en los efectos ópticos, es decir: la producción de estímulos en la corteza cerebral, capaces de transmitir una información visual. Este enfoque se justifica en la predominancia del tratamiento de la Luz Artificial cuya intensidad propia y densidad de uso habituales no alcanzan una magnitud notable. En esas condiciones, la influencia de la luz puede limitarse a sus **efectos ópticos**.

Si consideramos en cambio la Luz Natural proveniente de la radiación solar, no podemos limitarnos a esa perspectiva. La influencia biológica de la luz es mucho más amplia y afecta a otros diversos aspectos. Debemos considerar que la Radiación Solar ha sido el **medio energético** en cuyo entorno se han desarrollado y han evolucionado los seres vivos terrestres. Nuestro organismo es el resultado de una adaptación a la composición espectral, intensidad, ciclos de evolución de la Luz Natural, y la influencia que ejerce sobre nosotros sobrepasa la percepción visual. [7]

En este sentido se ha propuesto un análisis que establece una diferencia entre los fenómenos de procedencia óptica y aquellos de una gama más amplia denominados no ópticos. Desarrollamos el análisis de los dos efectos considerando tres factores imprescindibles en el proceso perceptivo del ser humano con respecto al ambiente lumínico; en un primer nivel de análisis (físico) tenemos las características de la luz; después, en el nivel fisiológico explicamos el funcionamiento del ojo humano; y finalmente, en el nivel psicológico describimos en resumen lo que se conoce propiamente como percepción visual y regulación circadiana, en cada caso.

En los Efectos Ópticos nos referiremos a todos aquellos elementos que se consideran forman parte o permiten el sistema de visión en seres humanos. En los Efectos No Ópticos explicaremos los elementos que inciden sobre otros procesos relacionados con la luz, pero que se diferencian del proceso visual.

1.2.4.2 Efectos ópticos de la luz

□ Nivel físico

En la actualidad sabemos que la luz visible es sólo una pequeña porción del espectro de radiación. Medida en longitud de onda (λ), se extiende desde 380 hasta 780 nm. Fuera de ese rango, existen otras radiaciones, formando junto con la visible el espectro total de radiación proveniente del Sol (ver Figura 1-7).

La atmósfera terrestre permite que dicha radiación llegue a la superficie, interactuando con la materia y de este modo, haciendo posible la vida. Si se descompone la luz blanca del Sol mediante un prisma, se forma un abanico de colores desde el violeta, azul, azul-verde, verde-amarillo, naranja, hasta el rojo. Cada color tiene asociada una longitud de onda (banda) característica.

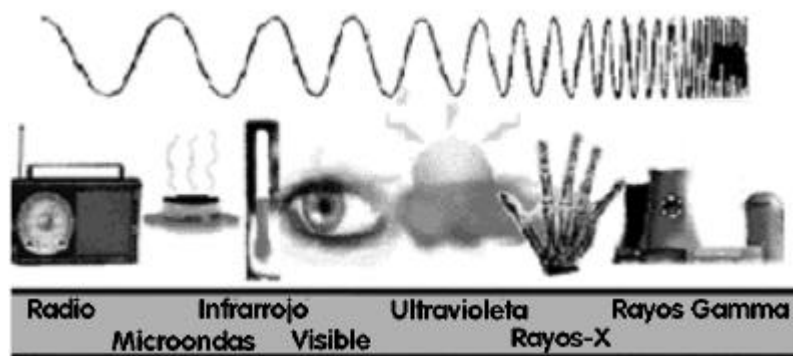


Figura 1-7. Esquema simplificado del espectro electromagnético.

Los colores u objetos coloreados sólo aparentan tener un color cuando dicho color está presente en el espectro de la luz que lo ilumina. Una luz con todos los colores espectrales, como la luz solar, posee excelentes propiedades para reproducir colores.

Por arriba del espectro visible se ubica el infrarrojo (IR) que abarca una banda de 780 nm a 1 mm. La radiación IR no es visible al ojo; cuando es absorbida e irradiada se convierte en radiación térmica (calor). Sin el calor producido por el Sol, la Tierra se mantendría cubierta de hielo. Por debajo del visible se ubica la banda ultravioleta (UV), cuyas longitudes de onda van de 100 a 400 nm. Una cantidad adecuada de UV es imprescindible para la vida en la Tierra.

La luz natural y su disponibilidad, que está relacionada con fenómenos dinámicos de nuestro planeta en torno al Sol, presentan una gran variación diaria, estacional y anual. No apreciamos la misma luz al amanecer, al mediodía o al atardecer y tampoco es igual en invierno que en verano. Por lo tanto existe una gama impresionante que conjuga niveles de iluminación, tonalidades, etc.

En el caso de las fuentes artificiales de luz, las características lumínicas son distintas de las de luz natural. El espectro de radiación entre una fuente y otra difiere en el espectro de radiación emitido, índice de reproducción cromática y temperatura de color, principalmente (**ver Anexo I**). Más adelante veremos que el conjunto de los tres elementos analizados: luz, ojo humano y percepción psicológica generan una información a través de imágenes, determinada en gran medida por el tipo de luz bajo el que se miren los objetos.

□ Nivel fisiológico (ver figura 1-8)

De acuerdo con el Dr. Ramón San Martín Páramo, director de la presente tesis, existen varios niveles dentro de la percepción visual, de los cuales la fisiología del ojo es sólo una parte.

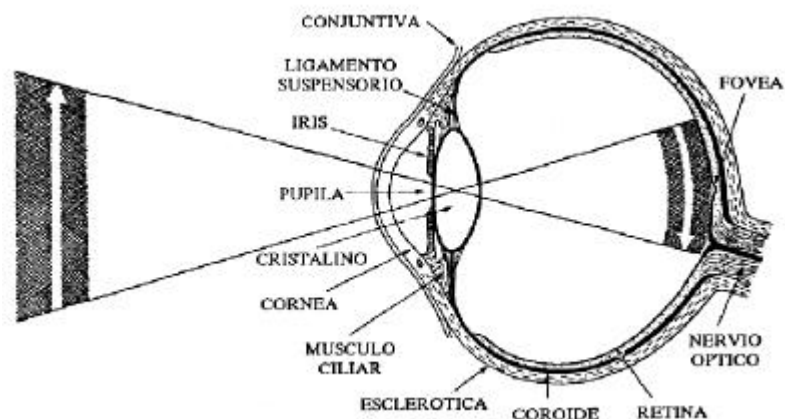


Figura 1-8 Esquema de los principales componentes del ojo humano involucrados en el sistema de visión.

El ojo está sometido a campos electromagnéticos. El **crystalino** filtra la acción de estos campos, rechaza algunos de ellos, otros pueden atravesarlo; varía la dirección de la radiación incidente: refracción → lente → imagen; orienta la recepción en dos dimensiones del espacio; acomoda el enfoque en una tercera dimensión espacial y adapta su diámetro a la intensidad de la radiación.

El **iris**, que se ubica frente al lente usa su abertura central ajustable, la **pupila**, para regular la entrada de luz y al mismo tiempo mejorar la profundidad de campo. Se ajusta automáticamente con las variaciones de las condiciones luminosas.

Con la edad la capacidad de enfocar se reduce debido a un endurecimiento de los tejidos de la lente. Se trata no de un defecto de visión, sino de una clara manifestación de envejecimiento. Como la capacidad de acomodación, depende del nivel de iluminación, es el motivo por el cual las personas mayores para ejecutar su trabajo necesitan un nivel de iluminación notablemente superior que el necesario para personas jóvenes.

La habilidad del ojo para ajustarse a distintos niveles de claridad se denomina adaptación. Esta capacidad de adaptación se extiende sobre una relación 1:10 billones (10^{-6} a 10^6 cd/m²). La pupila controla la cantidad de luz que entra al ojo dentro de un rango de 1:16. Es en la **retina** donde ocurre el mayor proceso de adaptación a un rango más amplio. Cada estado de adaptación determina la capacidad visual instantánea.

La visión es activa; este es el primer nivel: actividad de recepción (admisión de información). La **retina** está compuesta por elementos recubiertos de pigmentos que reaccionan químicamente a determinadas –y no todas- radiaciones. Dos tipos de pigmentos:

- Bastones: - muy sensibles, precisan poca energía para actuar
 - grandes, poca precisión espacial
 - banda ancha, sensibles a un espectro amplio de radiaciones
-

- Conos: - poco sensibles, necesitan mayor energía
- pequeños, precisión espacial
- selectivos, banda estrecha de sensibilidad. Tres tipos básicos en zonas diferentes del espectro: RGB

La retina está ocupada por 130 millones de fotorreceptores. Cercano al eje óptico del ojo se forma una pequeña depresión, la **fóvea**, donde los fotorreceptores de la visión diurna y del color se concentran. Esta es la zona de máxima agudeza visual.

La retina adapta su sensibilidad al nivel de energía mediante secreción de sustancias filtro. Las reacciones químicas que se producen en conos y bastones, generan un impulso eléctrico, una señal que es transmitida por terminales nerviosas. En la retina se produce el segundo nivel de actividad: traducción de la señal electromagnética en señal visual.

□ Nivel psicológico

Si bien en los niveles descritos anteriormente están involucrados conceptos de la naturaleza de la luz y la fisiología del ojo humano –en todo caso, existe ya en esta fase del proceso visual, un *tratamiento de la señal*, ya que el ojo es fisiológica y funcionalmente cerebral; es difícil, quizá imposible trazar una frontera–, podríamos decir que en este último comienza la actividad cerebral.

En palabras del Dr. San Martín: El mensaje 'mundo externo' es filtrado: sólo ingresan algunos de sus componentes. El conjunto receptor adapta su sensibilidad al nivel de energía del mensaje; distribuye espacialmente las señales integrantes del mensaje; puede entonces existir un segundo nivel de adaptación zonal; genera señales de respuesta, señales visuales relacionadas con los originales en: localizaciones; intensidad relativa y banda del espectro.

La tercera dimensión, *profundidad*, necesita ya un *análisis relacional* entre las imágenes en ambos ojos. El *análisis relacional* actúa a tres niveles:

- en cada una de las retinas comparando dentro de ellas diferentes ubicaciones, posiciones relativas, etc.
- entre las dos retinas, como en el caso de la visión 3-D
- entre dos *fotogramas* sucesivos, es decir, un análisis de la relación temporal

El análisis relacional se fundamenta en la intrincada red de fibras nerviosas. No existe una transmisión lineal –fibra a fibra- de los impulsos nerviosos. Por el contrario, es una red trenzada plagada de posibles vías alternativas, de tal forma que el itinerario es variable en función de las relaciones mutuas entre señales simples. Y el *itinerario*, a su vez, es una información más: el *significado* de una señal puede ser diferente según el camino que haya recorrido.

En el *área visual* del cerebro se recoge el conjunto de señales correspondientes a una imagen. Esta percepción visual no tiene la forma de imagen, no existe ninguna *fotografía* del espacio exterior, sino una matriz de códigos correspondientes a: magnitud de impulso; cualidades de impulso; posición de impulso y secuencia temporal de impulsos.

La recepción de esta matriz de códigos en la corteza cerebral no garantiza la *visión*. Se comprueba en animales –humanos o no- con disfuncionalidades en el *área visual*, que puede existir activación correcta de esta zona del cerebro sin que el individuo experimente una impresión visual: la señal está allí, pero no es reconocida.

La visión precisa un paso más: el código de señales debe ser decodificado, es decir, traducido a un lenguaje *legible*, lo cual implica: fonemas, vocabulario, estructura, sintaxis, gramática...

Aquí entra en juego un conjunto de estructuras (ancestrales, históricas, culturales, personales...) que llamamos personalidad. La personalidad moldea los mensajes, les confiere un lenguaje propio.

Los interrogantes abiertos son innumerables: qué vemos, quién ve, cómo ve, dónde ve, etc., etc. Al parecer, en el penúltimo paso del proceso, el mecanismo de análisis y codificación del mundo exterior, se invierte en una fase de decodificación y síntesis de una imagen virtual, un *holograma cerebral* que ha precisado una elaboración que incluye tanto la eliminación, como el filtrado, como la recomposición de las señales originales.

La correspondencia mundo-visión, es por lo tanto bastante problemática. En el último paso del proceso, *algo* en el organismo ve el holograma, ve su propia interpretación del mundo exterior. No sabemos qué es ese *algo*, ese *tercer ojo interior*. Decía Einstein que: 'los hechos son hechos y nuestra percepción de ellos, la realidad'.

Coincidiendo con lo anterior, **Serra y Coch [8]**, plantean que en este nivel además se incorporan elementos mucho más complejos de la percepción ambiental, debido a que los estímulos provenientes del entorno, la mayor parte de origen visual, también se componen de otros estímulos sensoriales (**ver Figura 1-9**). Para estos autores, los principios fundamentales del proceso perceptivo son:

1º *Cualquier percepción no es el resultado de una única estimulación, siempre que existan diferentes estímulos simultáneos, internos o externos.*

2º *Toda percepción es el resultado de las características innatas del individuo y, a la vez, de un proceso de aprendizaje.*

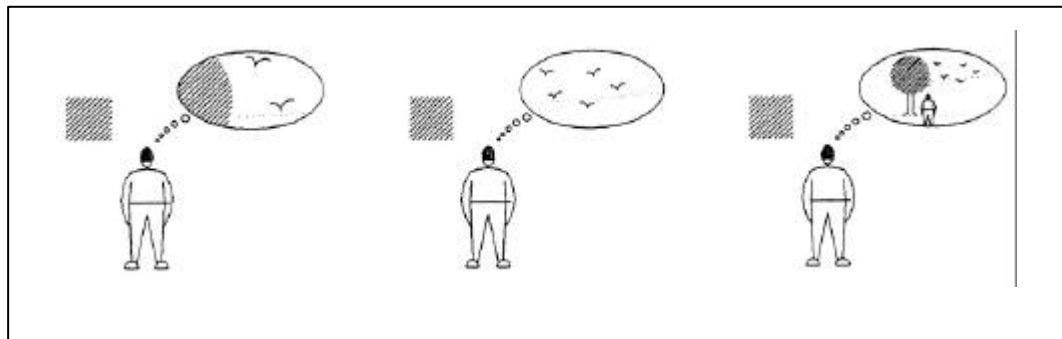


Figura 1-9 Ejemplo de Sinestesia. Complejo concepto que hace referencia a: sensación y percepción; estímulos internos o externos; características innatas o aprendidas, etc.
Fuente: Serra y Coch (1995)

Resumiendo, podemos ver que no es en vano la atención que se ha prestado a los efectos ópticos de la luz, pues como mencionamos al principio de este apartado, aproximadamente un 85 % de las percepciones sensoriales del ser humano son de origen visual. Lo cual hace del ambiente lumínico un elemento fundamental para el reconocimiento del espacio y los objetos que rodean al usuario.

Sin embargo, ahora se sabe también que la radiación óptica regula muchas funciones orgánicas y conductas del cuerpo humano, las cuales explicaremos a continuación.

1.2.4.3 Efectos no ópticos de la luz

□ Nivel físico

Los seres humanos tenemos fotorreceptores en diversas partes del cuerpo además de los ojos, que son sensibles a la luz. Las radiaciones del espectro electromagnético que inciden sobre los efectos no ópticos, van del ultravioleta UV (100-400 nm), pasando por el visible (400-780 nm), hasta el infrarrojo IR cercano (780-1400 nm). Cada una de estas longitudes de onda afecta de manera diversa nuestro organismo. **Ver Figuras 1-10 y 1-11.**

| Efectos o Aplicaciones | Ultravioleta (100-400 nm) | Visible, Infrarrojo cercano (380-1400 nm) | Infrarrojo (arriba de 1400 nm) |
|--|--|---|---|
| Piel | Eritema Fotocarcinogénesis Envejecimiento cutáneo fotoinducido Fotosensibilidad a las drogas Melanogenesis Melanoma | Quemaduras Eritema (térmico, inmediato) Fotosensibilidad a las drogas | Quemaduras Eritema (térmico, inmediato) |
| Ojo Córnea Lente Retina | Fotoconjuntivitis Fotoqueratitis Cataratas (inmediatas y a largo plazo) Coloración Esclerosis Cambios retinales | Cataratas infrarrojo-cercano Lesión térmica Lesión de choque Retinitis solar (lesión fotoquímica) Degeneración retinal | Quemaduras, conmociones Cataratas infrarrojo |
| Fototerapia | Psoriasis Herpes simple Odontología Vitiligo, fotoquimioterapia, micosis | Desprendimiento de retina Retinopatía diabética Bilirubinemia Glaucoma Borrar manchas de oporto y tatuajes Terapia fotodinámica Cirugía Depresión invernral (Desorden Afectivo Estacional -SAD-), trabajo a turnos, jet lag, trabajo continuo (>8-hrs.) terapia con láser de bajo nivel | |
| Beneficios | Vitamina D Pigmentación protectora | Ritmos biológicos Actividad hormonal Comportamiento | Calor radiante |

Figura 1-10 Tabla de los efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano, así como algunos de sus beneficios y aplicaciones. Fuente: IESNA Lighting Handbook (2000)

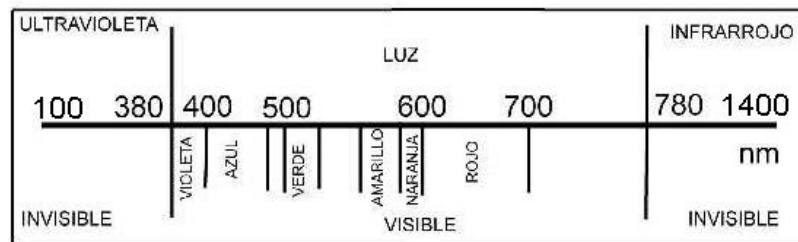


Figura 1-11 Franja del espectro electromagnético considerada en el presente apartado.

La radiación electromagnética es detectada por nuestro organismo a través de los ojos, piel, sangre y cuero cabelludo. Sus efectos incluyen un amplio rango de fenómenos negativos y positivos tales como daños en los tejidos oculares, efectos en la piel, formación de tumores, regulación hormonal y la sincronización de los ritmos biológicos, por citar algunos. (ver **Figura 1-12**)

Aparte de la vista, los animales y los humanos tenemos mecanismos que responden al ciclo cambiante de luz y oscuridad, de noche y día en el ámbito diario y con las distintas longitudes de día en las distintas estaciones, anualmente. Efectivamente, el ciclo diario de luz y oscuridad también sincroniza directa o indirectamente los ritmos fundamentales bioquímicos y hormonales en el ser humano.

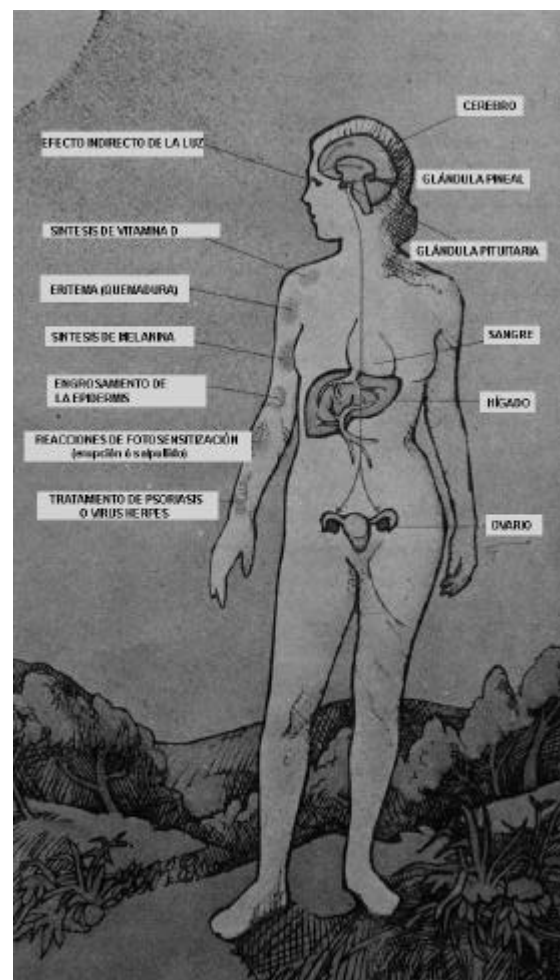


Figura 1-12 Fotorreceptores en el cuerpo humano, sensibles a la luz.

Toda reacción química, incluyendo aquéllas que son la base de los procesos vitales, se da a través de dos tipos de energía: *energía de activación* que excita las moléculas a reaccionar o *calor de reacción*, que equivale al cambio en la energía del sistema y es el resultado de la reacción. La energía de activación puede ser en forma de calor radiante o luz infrarroja, o como energía cinética de las moléculas y da como resultado reacciones *termoquímicas*.

La energía de activación puede ser en forma de luz y resulta en reacciones *fotoquímicas*. En los procesos visuales sólo opera como energía de activación, mientras que en los procesos no visuales actúa como calor de reacción. La radiación ultravioleta o de onda corta y antibiótica y la excesiva radiación infrarroja producen reacciones caóticas que destruyen las proteínas y ácidos nucleicos, base de la vida.

La fotobiología es la encargada de estudiar estas reacciones y los especialistas han investigado y continúan investigando las consecuencias de la luz sobre los procesos foto biológicos y fotoquímicos que provocan daños o beneficios a la salud de los seres humanos.

Así como antes nos referimos al proceso visual a partir del estímulo lumínico, a continuación realizaremos una breve descripción de otro proceso fisiológico que forma parte de los efectos no ópticos de la luz sobre el organismo, relacionada con la regulación neuroendocrina circadiana.

□ Nivel fisiológico

Se han encontrado dos rutas bien diferenciadas de entrada de información a partir de la luz (**Figura 1-13**), que provocan impulsos nerviosos en nuestro cerebro; las dos se generan en la retina, pero después se separan. Una va hacia la corteza visual a través del Núcleo Genicular Lateral cuyas siglas en inglés son LGN, y otra va hacia el hipotálamo vía Núcleo Supraquiasmático (SCN), generando unas consecuencias fisiológicas que detallaremos en el siguiente capítulo.

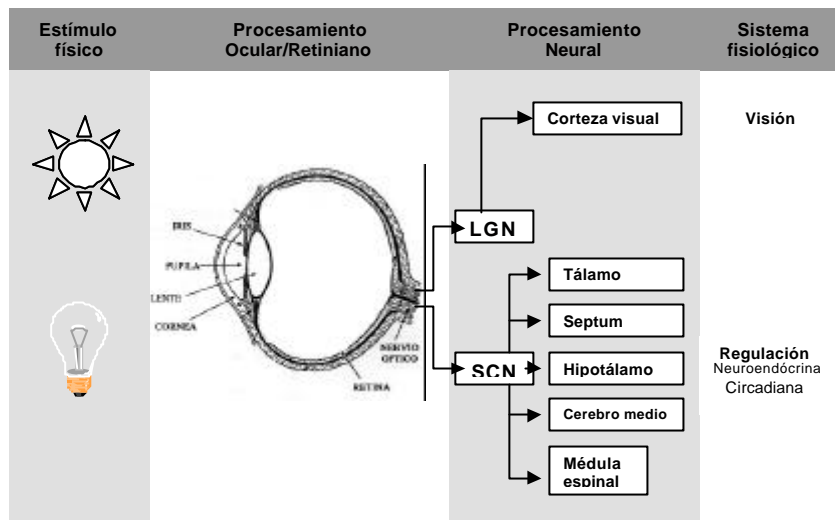


Figura 113 Influencia de la luz sobre dos procesos diferenciados. Proceso visual y regulación neuroendocrina circadiana. Fuente: Brainard y Bernecker (1996).

La primera ruta ha sido bastante estudiada y la hemos descrito anteriormente. La segunda, no óptica, es aquella a través de la cual se genera una sincronización con el ambiente geofísico. Se trata de una ruta nerviosa especial por la que se transmite información sobre el nivel de luz ambiental desde la retina hasta el reloj biológico, que está localizado en el área del hipotálamo, ubicado a su vez en el centro del cerebro.

En este punto consideramos oportuno describir uno de los conceptos biológicos que guarda enorme relación con los procesos de regulación generados a partir de la recepción de señales en el hipotálamo. Nos referimos al término *homeostasis* que se utiliza hoy para definir, no sólo a las estrategias que permiten al organismo una respuesta apropiada ante cambios en el medio ambiente (*homeostasis reactiva*) sino también los mecanismos temporales que permiten al organismo predecir el momento de probable aparición de los estímulos ambientales y así iniciar de antemano las respuestas correctoras adecuadas (*homeostasis predictiva*).

A partir de la introducción del concepto de homeostasis, la enfermedad es entendida como la alteración del medio interno y de los procesos regulatorios que lo mantienen.

Muchos de los procesos que se manifiestan en un organismo ante un agente nocivo, no son producto de los mecanismos disruptores de la homeostasis, sino del propio organismo que responde intentando retornar a su nivel homeostático. La discriminación entre respuestas homeostáticas y no homeostáticas es fundamental para un correcto diagnóstico y tratamiento de la mayoría de las enfermedades humanas.

En este sentido, el rol que desempeña el hipotálamo como centro de control de un sinnúmero de procesos fisiológicos generados a partir de la información ambiental, ha sido muy estudiado.

Pero, volviendo al tema de la ruta de entrada de información desde la **Retina** al hipotálamo (**Figura 1-14**), diremos que los agentes involucrados en este complejo nivel fisiológico son: el Núcleo Supraquiasmático (**NSQ**), el Núcleo Paraventricular (**NPV**), la **Médula espinal**, el Ganglio cervical superior (**GCS**) y finalmente, la **glándula pineal**, que es donde se produce la melatonina u hormona del sueño, que como veremos en el próximo capítulo, su producción se encuentra relacionada con el ciclo luz-oscuridad.

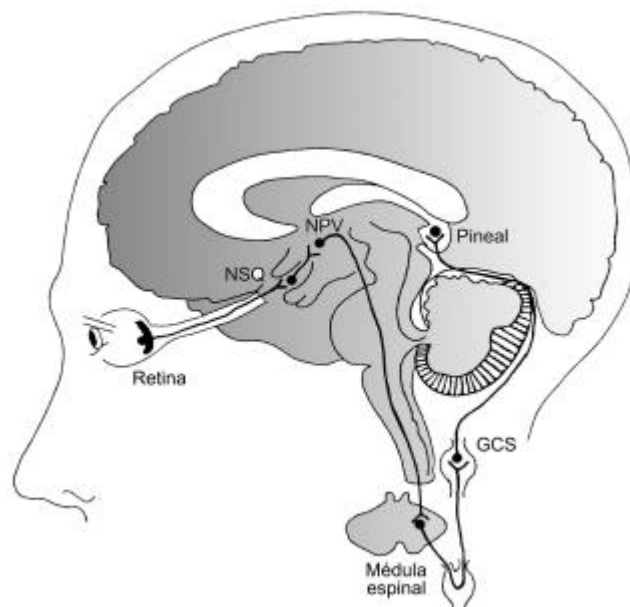


Figura 1-14. Localización de la glándula pineal en el cerebro humano y vía de transmisión de la información luminosa.

Finalmente cabe mencionar que además de la recepción de información acerca del ambiente lumínico por la retina, los efectos no ópticos requieren que se pongan en marcha los dos grandes sistemas de comunicación del organismo: el sistema endocrino y el sistema nervioso autónomo. Con relación al sistema endocrino, numerosas hormonas muestran ritmos diarios en su secreción. Y en cuanto al sistema nervioso autónomo, pueden obtenerse evidencias de su variación diaria a partir del análisis de la actividad de distintos sistemas.

□ **Nivel psicológico**

En este último nivel de análisis de los efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano, entran en juego una serie de aspectos muy complejos que intentaremos sintetizar a fin de entender conceptos con los cuales los seres humanos nos enfrentamos a diario, y que muchas veces no somos conscientes de ello.

Para ello es primordial comprender que lo que hemos referido en los puntos anteriores está íntimamente relacionado con procesos químicos, foto químicos y fisiológicos que se desarrollan entre el ser humano y el ambiente exterior.

Las actividades más naturales en nuestra vida cotidiana, como son: comer, beber, dormir, y realizar cualquier tipo de actividad física, están reguladas por intercambios energéticos de nuestros órganos interiores con el 'mundo exterior'. Por lo tanto las partes directamente expuestas al ambiente cumplen un objetivo primordial de proteger los procesos fisiológicos internos a fin de que las variaciones rítmicas se vean reducidas a lo esencial.

Es decir, que evolutivamente nos hemos adaptado a las condiciones ambientales más adversas y para mantener dicho equilibrio desarrollamos muchos mecanismos de control. Ya en el nivel físico y fisiológico tratamos los aspectos relacionados con estos mecanismos, e incluso en el capítulo 3 ahondaremos aún más en su descripción.

Lo que se sabe hasta el momento acerca de la regulación circadiana establecida a partir de la información lumínica recibida, es que influye no sólo en nuestra actividad diaria, sino también en nuestro comportamiento.

Específicamente cuando se presentan alteraciones a los patrones diarios, el organismo suele presentar padecimientos que se ven reflejados en una disminución del apetito, estado de ánimo bajo, e incluso derivar en estados depresivos.

Como un dato interesante, en algunos casos de ceguera se ha encontrado que los pacientes reciben adecuadamente la información lumínica en la retina, pero que alguna lesión cerebral impide la continuación hacia el hipotálamo [9]. Como resultado, es frecuente encontrar que dichos pacientes padecen una desajuste horario en su patrón sueño-vigilia.

Otro ejemplo es la depresión estacional, que como cualquier otra depresión, tiene su origen en procesos fotoquímicos que se desarrollan en el cerebro, y en este caso se desarrolla a partir de una disminución del aporte lumínico durante otoño e invierno en latitudes muy al norte del planeta.

Este tipo de padecimientos sería una prueba de que las repercusiones de la luz sobre la psicología de los seres humanos a partir de los efectos no ópticos. Los investigadores del sueño también están interesados en averiguar las consecuencias psicológicas de prolongar la actividad a los horarios nocturnos.

Por lo tanto, ¿hasta qué punto la presencia o ausencia de luz y la variación de sus características determinan o condicionan el comportamiento y estado de ánimo de los sujetos, no sólo a partir de la percepción visual, que ha sido la más estudiada hasta ahora, sino a partir de la influencia que la luz ejerce sobre los procesos no ópticos de la misma en el ser humano, mediante un proceso neurológico distinto al visual?. Encontramos que esta hipótesis es uno de los retos no sólo del presente trabajo, sino de otros estudios posteriores.

1.2.5 Luz y Salud

1.2.5.1 Introducción

A través de los efectos no ópticos de la luz sobre el organismo humano, se llega a procesos de regulación fisiológica entre los que se encuentran los ritmos biológicos, la actividad hormonal y el comportamiento.

Sabemos que en la naturaleza existe una periodicidad ambiental y lumínica, cuya duración se modifica a lo largo del tiempo, de manera horaria, diaria, estacional, anual, etc. (**Figura 1-15**). El factor geofísico luz-oscuridad y las características físicas de nuestro planeta determinan en gran medida dicha variación, la cual es registrada por los seres vivos que poblamos la Tierra. Antes explicamos cómo es que a través de la luz reconocemos el espacio y los objetos que nos rodean. En este apartado veremos como la luz también sincroniza nuestros ritmos biológicos.



Figura 1-15. Puesta de Sol como ejemplo de periodicidad lumínica

Tomando en cuenta que no somos especialistas en temas de fisiología y cronobiología describiremos a continuación una serie de conceptos que son fundamentales para entender el papel del ambiente lumínico en la salud de las personas.

1.2.5.2 Los relojes biológicos.

El término de relojes biológicos comenzó a utilizarse a principios del siglo pasado, para denominar a los sistemas internos de las especies vivientes del planeta, que permiten a los organismos hacer lo que es adecuado en el momento preciso y con gran flexibilidad desde el punto de vista biológico y fisiológico. Se trata de neuromecanismos capaces de medir el tiempo y de señalar al organismo que comience o cese periódicamente su actividad.

El cuerpo contiene múltiples sistemas que funcionan de manera cíclica. La duración de los ciclos varía mucho: el corazón, cuyo ciclo se mide en segundos; el ciclo del sueño REM, que dura unos noventa minutos; el ciclo circadiano-diario; y ciclos mensuales y anuales que regulan el comportamiento reproductor. Todos ellos dependen de un reloj biológico cuya función básica es la supervivencia.

Pensemos que durante la evolución de la vida en la Tierra, la luz proveniente del Sol con sus características espectrales y de variación entre día y noche ha jugado un papel decisivo. Sin embargo, la obediencia ciega a las condiciones ambientales derivadas de dichas características, pone en peligro la propia existencia. Con el fin de librarse de esta dependencia total a la rotación ambiental es que se desarrollaron los relojes biológicos endógenos (internos) a lo largo del proceso evolutivo.

El factor ambiental más importante que influye sobre la función de los relojes biológicos es la alternancia del día y la noche, o de luz y oscuridad. Los mamíferos poseen una ruta nerviosa especial a lo largo de la cual se transmite información sobre el nivel de luz ambiental desde la retina hasta el reloj biológico, que está localizado en el área del hipotálamo. Esta ruta está separada de aquella a través de la cual se transmite información desde la retina a la corteza cerebral visual [10]. **(Ver Figura 1-16)**

También existen otros factores, denominados conductuales, que actúan sobre los relojes biológicos, como la interacción social, el horario de comidas o el ritmo sueño-vigilia.

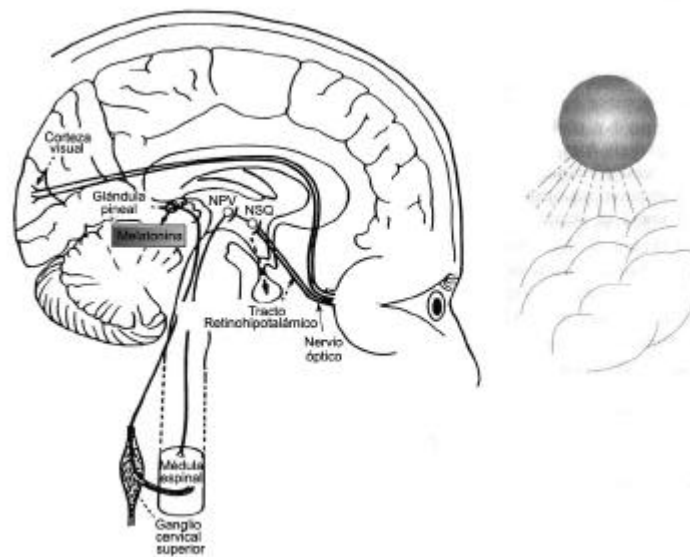


Figura 1-16. Esquema de la entrada de información desde la retina al cerebro, a través de una ruta distinta a la visual.

Los médicos han encontrado en múltiples experimentos que los ciclos se mantienen aún en condiciones de aislamiento total de los factores ambientales externos (fenómeno *free running*), con lo cual corroboraron la teoría de que los relojes biológicos son sistemas independientes de dichos factores, pero que sin embargo pueden ser *encarrilados* por ellos a fin de adaptarse a un medio ambiente variable. **(Consultar Anexo II)**

Desdichadamente existen dificultades, a veces insalvables, para estudiar en forma directa los mecanismos del reloj biológico. No obstante, una manera de conocer sus propiedades es a través de la medición indirecta de los ritmos bioquímicos, fisiológicos y conductuales que el reloj regula y que llevan el nombre de ritmos biológicos.

Los denominados ritmos biológicos son oscilaciones, regulares en el tiempo, de una variable biológica. Se caracterizan por una alta gama de frecuencias que van desde un ciclo por milisegundo, hasta un ciclo cada varios años.

Suele utilizarse también el término periodo para definir el número de ciclos que ocurren por unidad de tiempo. Por lo general, la frecuencia se utiliza para caracterizar ritmos más bien rápidos (como los del electroencefalograma, o electrocardiograma) y el periodo para aquellos ciclos más bien lentos (como el sueño-vigilia, o reposo-actividad).

1.2.5.3 Los ritmos biológicos circadianos

Acuñado por F. Halberg en 1959, el término ritmo circadiano describe a uno de los ritmos biológicos, y su periodo fluctúa alrededor de 24 horas. Su nombre proviene del griego *circa*=alrededor y *diano*=día; de acuerdo con **Cardinali y Golombek [11]** son los ritmos que más atención han recibido, debido a su '*creciente importancia biomédica*'.

Podemos decir que los ritmos circadianos son la consecuencia de los cambios de actividad, en función de la hora del día, de los grandes sistemas de comunicación del organismo: el sistema endocrino y el sistema nervioso autónomo. Con relación al sistema endocrino, numerosas hormonas muestran ritmos diarios en su secreción. Entre ellas, tanto la melatonina como el cortisol tienen importancia como señales de sincronización.

La síntesis de melatonina en la glándula pineal tiene una posición central, mediando los efectos de los estímulos lumínicos a través de los ojos durante las variaciones diurnas y anuales. Se ha detectado un marcado ritmo diario en la cantidad de melatonina secretada por los seres humanos. Mientras que el nivel es generalmente muy bajo durante el día, la secreción incrementa al caer la tarde, llega a su máximo nivel durante la noche y se disuelve al amanecer.

A diferencia de la melatonina, la secreción de cortisol por las glándulas suprarrenales fluctúa diariamente con un máximo en las horas de la mañana, disminuyendo a niveles bajos durante la tarde.

En cuanto al sistema nervioso autónomo, pueden obtenerse evidencias de su variación diaria a partir del análisis de la actividad de distintos órganos y sistemas.

Existen ritmos diarios en la presión arterial, frecuencia cardíaca, etc. La consideración de estos cambios circadianos es de gran importancia para el diagnóstico de enfermedad y para los tratamientos médicos.

En condiciones constantes o de aislamiento, los seres humanos tenemos un periodo circadiano de más de 24 horas. Debemos pensar que el periodo de cada día natural experimenta un cambio diario de unos 4 minutos, de tal manera que aunque dispusiéramos de un marcapasos de 24 horas, el organismo necesitaría hacer un ajuste diario de su periodo. En este sentido se habla de una cierta 'plasticidad' en los ritmos, comentada con anterioridad.

Entre todas las funciones que presentan ritmicidad circadiana en el hombre, el ritmo de sueño-vigilia es la más importante, pues no cabe duda que es el aspecto más estable de nuestro comportamiento, al que confiere regularidad y ritmo.

La conclusión de los numerosos estudios en ambientes libres de tiempo (aislados de todo referente exterior) es que el origen del ritmo de sueño-vigilia es el sistema nervioso: no es aprendido y no es afectado por el ambiente externo. Por el contrario, en ambientes con referentes externos se halla una sincronización de marcada ritmicidad.

El rendimiento físico y/o intelectual humano (*performance*), no es uniforme a lo largo del día, sino que presenta una clara periodicidad circadiana. Las fluctuaciones diarias en la memoria, tiempo de reacción, destreza manual y apreciación subjetiva del estado de alerta aparecen recogidas en la **Figura 1-17**.

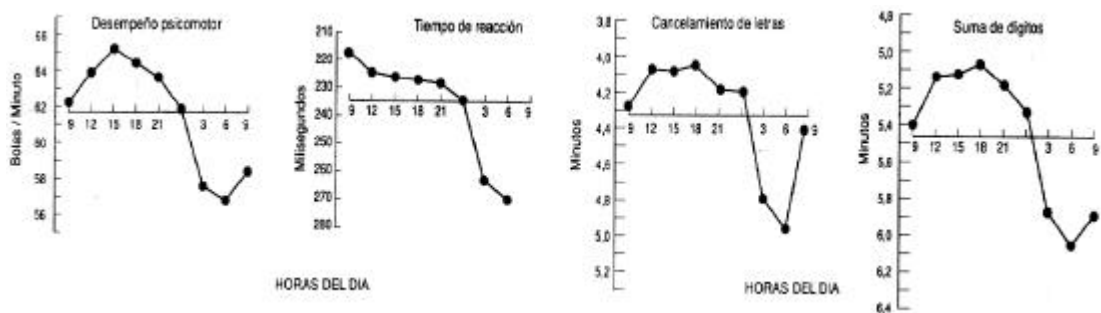


Figura 1-17. Ciclo circadiano reflejado en diversos tipos de actividad. Fuente: Cardinali et al. (1996)

En los gráficos anteriores podemos apreciar una disminución del rendimiento físico e intelectual durante las horas nocturnas. También observamos dos ciclos bien diferenciados que corresponden a un periodo de mayor actividad, cuya duración es de aproximadamente 16 horas y otro de menor actividad, de 8 horas. Son los llamados ciclos de vigilia y sueño, respectivamente, y juntos componen uno de los ritmos circadianos más estudiado por los cronobiólogos.

La relación entre los ritmos de sueño-vigilia y temperatura corporal resulta muy interesante, pues los diversos estudios científicos han encontrado que entre ambos existe una correlación significativa. Por ejemplo, las personas en un ambiente natural se van a dormir cuando la curva de su temperatura corporal empieza su descenso diario. Y cuando hablamos de actividad, su mayor rendimiento coincide con las temperaturas más altas. Cuando hablamos de variaciones en la temperatura corporal a lo largo del día, nos estamos refiriendo a un rango comúnmente menor a 1°C (por ejemplo entre 36.4°C en su punto más bajo y 37.4°C en su punto más alto).

Lo anterior, tomando en cuenta que los cambios en el ritmo diario de la temperatura corporal no son el resultado de la temperatura ambiente durante la transición del día a la noche o de la actividad muscular durante el día. El ritmo continúa aunque una persona mantenga la misma posición, esté privada de dormir durante un periodo prolongado o ayune.

Controlados por diferentes relojes biológicos, el ritmo de temperatura corporal y el ritmo sueño-vigilia se mantienen constantemente sincronizados con el ciclo diario de 24 horas. Sólo durante periodos de aislamiento se evidencia su separación.

A continuación describiremos los aspectos más relevantes del ritmo sueño-vigilia, su relación con los procesos fisiológicos del organismo del ser humano, que nos ayudarán a comprender aún más la estrecha relación que guarda nuestra biología con el ciclo geofísico de luz-oscuridad y con la curva de reposo-actividad.

1.2.5.4 El ciclo del sueño

De acuerdo con la opinión de algunos especialistas, los mecanismos fisiológicos del sueño no han sido aún completamente dilucidados. Sin embargo aquí resumimos los conocimientos más actuales sobre el tema.

Desde el punto de vista circadiano, el sueño es un requerimiento básico que no puede ser postergado por mucho tiempo. Aún pequeñas reducciones en el sueño normal producen caídas significativas en el rendimiento, en especial en horas de la noche. Si se priva de sueño a un individuo, de forma prolongada, la carencia puede llevar a desarrollar episodios de "micro sueño", consistentes en crisis fugaces de sueño que pasan inadvertidas para el propio sujeto. Incluso se ha detectado en algunos casos de privación severa, la aparición de alucinaciones o imágenes alteradas de la realidad.

Pero, ¿a qué se debe lo anterior?, ¿Por qué es tan importante el sueño?; ¿Qué procesos se llevan a cabo mientras dormimos?.

Ahora se sabe que nuestro periodo de sueño no se compone de un único y prolongado estadio, sino de 4 diferentes estadios (además del denominado REM), cuya aparición durante la noche no es un proceso aleatorio, sino un proceso organizado y definido. Bajo los diferentes estadios, nuestro cerebro registra ondas cerebrales de diversa actividad eléctrica [12].

(Ver Figura 1-18)

La edad es uno de los factores que modifica el ciclo del sueño a lo largo de la vida de un individuo y al parecer la duración de cada estadio a una edad muy temprana, intermedia y muy avanzada responde a diversos requerimientos por parte del sistema endocrino de los seres humanos, ya que la producción de hormonas en general, se ve afectada por la transición de una época a otra de nuestra existencia.

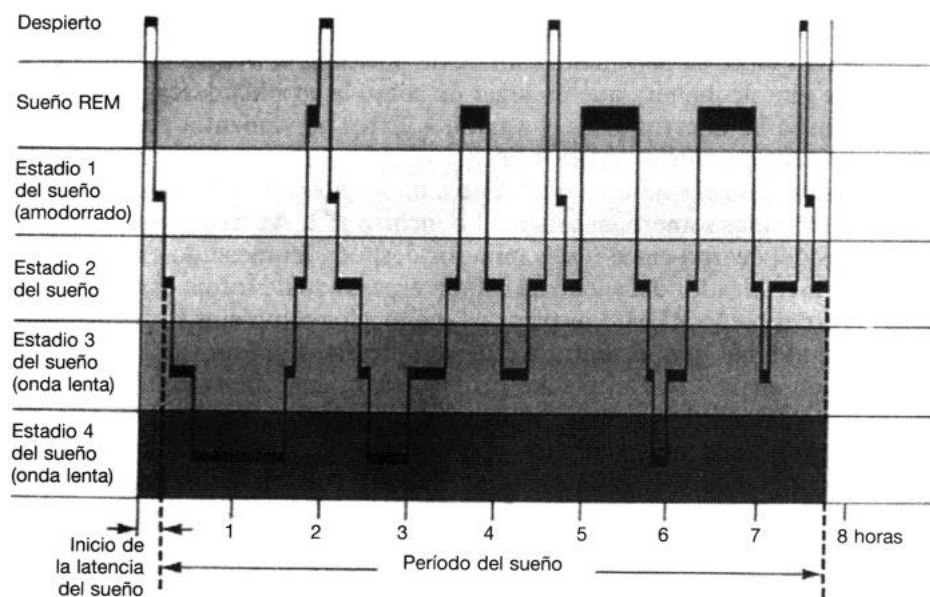


Figura 1-18. Hipnograma de un adulto joven, donde podemos observar los diversos estadios del sueño. Fuente: Lavie (1997)

Por ejemplo, durante el primer año en la vida de un niño, hay dos cambios importantes en el ritmo de sueño-vigilia. Empieza a aparecer un período de sueño único y continuo y un período de vigilia continua; al mismo tiempo y lentamente, empieza a desarrollarse una pauta de coordinación entre el ritmo de sueño-vigilia y las exigencias del ambiente externo. La tasa de cambio varía de un bebé a otro, pero en cualquier caso se relaciona con la secreción de la hormona del crecimiento, principalmente.

Más complejo nos resulta explicar lo que sucede en la edad adulta con la propensión al sueño durante un periodo de 24 horas. Estudios recientes muestran que la necesidad de dormir no sólo aparece en las horas nocturnas, también aparece durante la tarde.

Los especialistas sugieren que se debe a un cambio interno en el funcionamiento del reloj del sueño, lo cual *“parece confirmarse por la costumbre, bien establecida en muchos países, de hacer la siesta.”* [13] (Ver Figura 1-19)

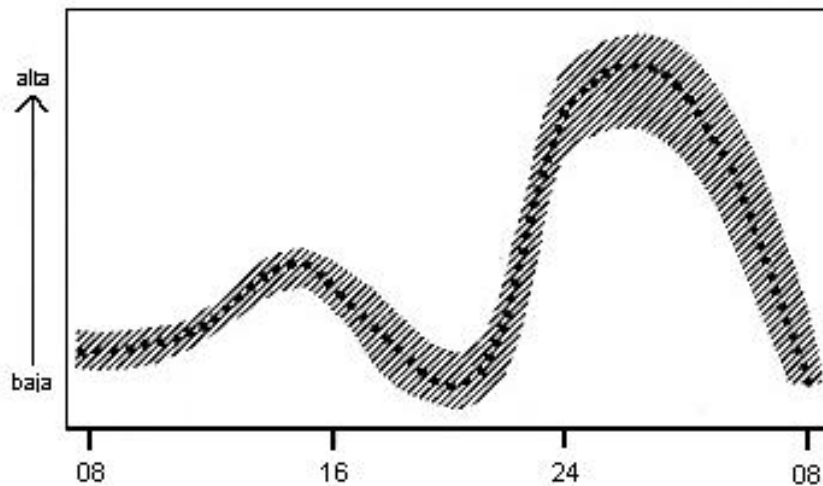


Figura 1-19. Horas de máxima propensión al sueño. Fuente: Lavie (1997)

Entre los experimentos que se están llevando a cabo en la actualidad respecto a este tema, destacan las observaciones sobre las diferentes horas del día en que a los sujetos les es más fácil o más difícil conciliar el sueño y se encontró que existían tres partes del día en que había cambios en la latencia del sueño: por la tarde, al anochecer y por la noche.

Los resultados varían, dependiendo de si los sujetos han dormido durante la noche o no, pues si se les ha privado de sueño, tienden a quedarse dormidos más fácilmente durante el día. De cualquier forma, opinan los especialistas que la regulación de dichos procesos proviene del hipotálamo y aún queda mucho por investigar al respecto.

Por último, antes de pasar al ciclo de vigilia nos parece importante hablar de un estadio del sueño que ha interesado mucho a los investigadores: el sueño REM –Rapid Eyes Movement, por sus siglas en inglés–. Brevemente, diremos que fisiológicamente se caracteriza por la desaparición del tono muscular, aparición de ondas cerebrales que indican vigilia durante el sueño, movimientos rápidos de los ojos, cambios frecuentes en las tasas respiratorias y del pulso. Mediante la comprobación del consumo de energía del cerebro y el flujo de sangre cerebral durante el sueño, se reveló que el sueño REM se parece más a la vigilia que al sueño.

Por ello se ha denominado al sueño REM como una 'puerta a la vigilia', puesto que es durante este periodo del sueño que mantenemos contacto con lo que sucede a nuestro alrededor y del cual es más fácil despertar, en comparación con los otros 4 estadios.

Las conclusiones respecto al sueño REM lo describen como uno de los más asombrosos ejemplos de la flexibilidad de la evolución en el sentido de que *al principio no estaba destinado a desempeñar ningún papel en el control y la regulación de los instintos, la consolidación de las trazas de memoria, la regulación de la excitación cerebral o la creación de sueños*; pero sus características particulares, en tanto que puerta a la vigilia mientras se está durmiendo, cumplen muchos y variados papeles.

Finalizamos este punto diciendo que el centro del sueño y el de la vigilia se localizan en diferentes puntos del cerebro, específicamente en el hipotálamo y tálamo el primero, y la *formación reticular* (en la corteza cerebral), el segundo.

1.2.5.5 El ciclo de la vigilia

Hemos comentado en otro momento conceptos como rendimiento, intercambio energético, temperatura corporal, producción de hormonas, ondas cerebrales, tono muscular, etc., que hasta ahora habíamos referido a los ritmos circadianos y al ciclo del sueño. En este punto nos referiremos a los mismos conceptos, aplicados al ciclo de vigilia.

Respecto a la producción hormonal, por ejemplo, nos encontramos con que el cortisol es una hormona que se secreta vigorosamente bajo condiciones de estrés, y una de sus funciones primarias es la movilización de energía en condiciones de emergencia. Por ello, *no es sorprendente que el proceso de despertarse esté acompañado del aumento de su secreción, con el fin de preparar al organismo para combatir las exigencias físicas de la vigilia*. Dicho aumento comienza durante el sueño y se va incrementando paulatinamente hasta llegar a su punto más alto al despertarse el sujeto.

Otro de los aspectos que cambia drásticamente es el tono muscular, responsable de que permanezcamos erguidos al realizar nuestras actividades. También las ondas cerebrales de la vigilia son distintas a las del sueño (con excepción del sueño REM) y el equilibrio entre gastos y requerimientos energéticos se va modificando a lo largo de las aproximadamente 16 horas que dura el ciclo. El intercambio energético con nuestro medio ambiente no cesa durante el periodo de vigilia; de ello depende que podamos realizar cualquier tipo de actividad en las mejores condiciones posibles.

Más adelante veremos que, desde hace relativamente poco tiempo, la alternancia luz-oscuridad regía nuestro ritmo actividad-reposo y las personas desarrollaban sus tareas en concordancia con la disponibilidad de luz natural (y de acuerdo a las variaciones climáticas, culturales, etc., de cada punto del planeta).

El rendimiento de una persona traducido en la capacidad de concentración, la atención y la rapidez al realizar una tarea, se ven afectados durante el periodo de vigilia por la actividad cerebral y por funciones fisiológicas y psicológicas en concordancia con su ambiente, del cual la luz forma parte.

De todo lo anterior podemos resaltar la importancia que tiene el ciclo sueño-vigilia en la vida de los seres humanos. También nos sirve de partida para entender otros conceptos relacionados con nuestra salud, pues veremos que en las sociedades modernas comienza a ser cada vez más evidente la desincronización entre nuestros ritmos biológicos y el día geofísico.

1.2.5.6 Desincronización

Una vez hemos comentado los temas que consideramos más importantes para comprender por qué la luz y la oscuridad juegan un papel notable en nuestra vida, describiremos los elementos que en fechas recientes se han estudiado y que tienen que ver con alteraciones de nuestros ritmos biológicos, especialmente el ciclo sueño-vigilia.

La regularidad presente en los ciclos a los cuales nos hemos referido anteriormente puede verse desincronizada debido a diversos factores, que iremos describiendo más adelante y que pueden provocar daños severos a la salud de los seres humanos, dependiendo del grado de alteración que supongan.

Uno de los conceptos más complejos utilizado por los cronobiólogos, relacionado con procesos de desincronización, se refiere al cambio de fase del ritmo circadiano. Nos parece muy importante aclararlo, puesto que es de gran ayuda para entender qué sucede con los tratamientos médicos con luz o medicamentos para curar trastornos del sueño, u otros padecimientos.

Podemos hablar de condiciones normales, por ejemplo cuando nuestro ritmo sueño-vigilia u otros ritmos están en sincronía con el ambiente geofísico. En este caso se presentarían periodos de sueño y de vigilia con pocas variaciones a lo largo del tiempo **(Ver Figura 1-20)**.

Sin embargo, puede darse el caso de que dicha concordancia se vea alterada, cuyo resultado sea un avance o un retraso de fase del ritmo. Un ejemplo muy claro de ello, es el síndrome de fase de sueño demorado, trastorno padecido por algunas personas que consiste en la dificultad de conciliar el sueño antes de las primeras horas de la madrugada; una vez que consiguen dormir, su sueño no presenta alteraciones, pero al final son incapaces de despertarse antes del mediodía, aproximadamente.

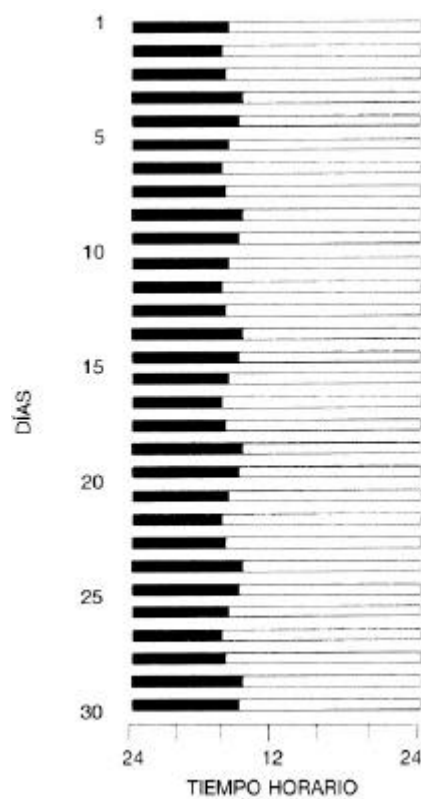


Figura 1-20. Gráfico imaginario donde se observa la concordancia del periodo sueño-vigilia en sincronía con el día geofísico. Las barras negras indican horas de sueño.

Esto representa un gran problema, pues pensemos que a las personas que son incapaces de despertarse antes de las 4 de la tarde les será difícil funcionar en una sociedad en la que el día laborable normal empieza a las 8 o 9 de la mañana y termina a las 5 de la tarde.

Si observamos un gráfico del ritmo sueño-vigilia de dichos sujetos, podremos ver que el desfase resulta evidente cuando se le compara con el ciclo geofísico noche-día. **(Ver Figura 1-21)**

Si se trata de un avance de fase, esto querría decir que la persona se va a dormir muy pronto por la tarde y se despierta en mitad de la noche, lo cual también supone una falta de coordinación con la vida social en contacto con otras personas. Sin embargo, de acuerdo con los estudios en algunos laboratorios del sueño, estos casos son menos frecuentes que los de retraso de fase.

Figura 1-21. Periodos de sueño aleatorios, no sincronizados con el día geofísico, representados por las barras negras.



La vuelta a la normalidad (resincronización), aunque es posible por diversos medios, no ocurre con la misma velocidad para los distintos componentes rítmicos. La disociación entre los diversos ritmos biológicos del organismo es la causa de la fatiga y bajo rendimiento en esas situaciones. Múltiples investigadores en el mundo se encuentran trabajando para encontrar soluciones a la desincronización, de las cuales hablaremos posteriormente.

1.2.5.6.1 Síndrome de Depresión Estacional

SAD, por sus siglas en inglés –Seasonal Affective Disorder–, es una alteración en el patrón diario que puede causar fatiga, alteraciones del sueño, depresión y padecimientos somáticos. La variación anual de la cantidad de horas de luz, junto con un cambio de fase inapropiado del ritmo circadiano, se consideran las principales causas tanto del letargo común del pleno invierno en la estación oscura, como de los estados agudos de depresión que ocurren durante otoño y primavera.

A todo este cuadro se le denomina SAD, o sub-SAD, si los síntomas son menos severos. Estos son padecimientos de depresión que recurren anualmente, a menudo acompañados de síntomas vegetativos en el hemisferio Norte del planeta, apareciendo usualmente entre los meses de noviembre y febrero.

En muchos estudios (entre otros en Alaska, Dinamarca, Inglaterra, Finlandia, Islandia, Noruega, Escocia, Suecia Suiza y el centro de EE.UU.), también se han documentado alteraciones estacionales. En el hemisferio Sur, se ha identificado el SAD durante el invierno en Antártica, Australia y Sudáfrica. [14]

1.2.5.6.2 Jet lag

En épocas pasadas, trasladarse de una franja horaria a otra muy alejada podía realizarse de manera lenta, con lo que el reloj biológico se iba ajustando al ciclo geofísico muy paulatinamente. Sin embargo en la actualidad podemos viajar en tiempos reducidos por diversos husos horarios. Lo que se deriva de ello, es que después de realizar vuelos intercontinentales, el tiempo ambiental cambia abruptamente.

El ciclo sueño-vigilia y el sistema circadiano no pueden seguir este repentino cambio de fase. Además, se necesitan algunos días para conseguir ajustarse a la nueva franja horaria. Los efectos resultantes del desplazamiento entre el tiempo interno y externo se conocen como jet lag.

Típicamente, la persona que sufre jet lag se siente cansada en un cierto momento del día y tiene dificultades para conciliar el sueño o para levantarse temprano. Este último hecho incrementa la sensación de fatiga y conduce a dificultades para la concentración, con cefaleas y otros trastornos. El apetito disminuye y las comidas son difíciles de digerir, pues se hacen en momentos que el organismo no está preparado para la digestión. Algunos sujetos experimentan con mayor intensidad que otros los síntomas del jet lag.

1.2.5.6.3 Privación del sueño

La privación del sueño nocturno es capaz de alterar la actividad física y mental de un individuo, e influye negativamente en varios aspectos del rendimiento, conduciendo a disminución del tiempo de reacción, respuestas retardadas, cognición lenta, fallo de respuesta adecuada, falsas respuestas y pérdida de la memoria. Las secuelas de la carencia de sueño, tanto las circadianas de disminución nocturna del rendimiento, como las reactivas ante la privación de sueño, son factores importantes a considerar en situaciones de alteración de los ritmos biológicos, como el trabajo en turnos o los vuelos transmeridianos.

Existen muchos motivos y diferentes condiciones para causar la privación de sueño de un sujeto. Empezando por la decisión personal de trasnochar hasta altas horas de la madrugada o de la mañana, pasando por alteraciones del sueño como el insomnio, hasta los requerimientos laborales, a los cuales nos referiremos más adelante.

Todos ellos tienen como factor común prolongar la actividad del sujeto hasta las horas nocturnas, que en condiciones normales se deben dedicar al sueño. Numerosos estudios han hecho ver que la necesidad de dormir es fundamental para la vida, ya que tal como hemos comentado anteriormente, durante los diferentes estadios del sueño nuestro cerebro continúa trabajando reorganizando la información recibida durante el día y nuestro cuerpo realiza procesos de intercambio de energía con el exterior, preparándonos para la vigilia.

1.2.5.6.4 Alumbrado artificial

Los seres vivos son muy sensibles a los cambios de luz, aún proviniendo estos de una fuente artificial. Muchos de los efectos biológicos, fisiológicos y psicológicos de la luz parecen estar moderados por las características de la fuente de luz y el ambiente lumínico. La intensidad de la luz y su distribución espacial y temporal pueden ser relevantes. Se ha comprobado que en ambientes interiores hay efectos adicionales de la luz artificial.

Tal como nos referimos a los efectos no ópticos de la luz en el capítulo 2.3, el alumbrado artificial juega en la actualidad un papel importante ya que su desarrollo, experimentado a partir de mediados del pasado siglo XX, ha intensificado su uso hasta límites en los que su acción sobre el ser humano supera lo meramente óptico y es posible detectar su influencia en otros aspectos biológicos. Los estudios, provenientes en principio del Área Médica, han llegado a confluír con los propios del Área Luminotécnica.

Tomando en cuenta lo anterior, El Dr. Czeisler y sus colaboradores [15], consideran que *la prolongada exposición a la luz artificial es la causa de que mucha gente de los países industrializados padezca una permanente sensación de desfase horario y falta de sueño*. Por lo tanto, ahora se comienza a hablar de que la utilización del alumbrado artificial es un elemento que también puede llegar a desincronizar nuestros ritmos biológicos.

1.2.5.7 Desincronización debida al trabajo

Si bien hemos tocado temas relacionados con la desincronización de los ritmos biológicos en general, especial atención merece su tratamiento desde la perspectiva del ambiente laboral, puesto que esta vez ya no se trata ni de una decisión personal de no dormir, ni de un trastorno del sueño ó padecimiento SAD; ahora se refiere a un aspecto diferente, pues en un empleo nos vemos obligados a seguir unas rutinas de trabajo determinadas.

A continuación explicamos los casos más comunes de desajuste de los ritmos que se atribuyen a problemas en el ambiente laboral.

1.2.5.7.1 Vuelos transmeridianos

Para los trabajadores que por las características de su labor requieren realizar vuelos transmeridianos muy a menudo, el efecto de Jet lag se convierte en un verdadero problema, pues el cambio de fase de sus ritmos se ve alterado constantemente.

Es el caso de las tripulaciones de aerolíneas, o personas que por negocios deben desplazarse continuamente por diversas franjas horarias, en cortos periodos de tiempo. Para los primeros, algunas empresas intentan paliar los problemas con estrictas agendas de vuelo, que suponen periodos de descanso para ajustar los ritmos de la tripulación. Para los segundos, no existe suficiente información acerca de cómo los trabajadores enfrentan el jet lag.

1.2.5.7.2 Turnos de trabajo nocturnos o rotatorios

Si bien la aparición del trabajo vespertino o nocturno se dio en fechas antiguas, fue a partir de la Revolución Industrial que las necesidades de trabajar por la noche han crecido exponencialmente. Los turnos rotatorios corresponden a una modalidad imprescindible para cualquier sociedad moderna desarrollada. Los sectores de servicios, salud, industrial y transporte destacan con los mayores porcentajes de trabajadores en turnos o en horario prolongado, aunque cada vez más existe la tendencia de personal altamente especializado y cualificado en otros sectores como el financiero, con los operadores bursátiles.

De acuerdo con la opinión médica, el sistema cronobiológico puede verse afectado durante los turnos nocturnos y rotatorios de trabajo, los cuales a menudo están asociados con un adormecimiento severo en el turno de noche y en un fragmento del turno de la mañana. Este adormecimiento es tan fuerte como el de la somnolencia excesiva y se asocia con un fuerte incremento en el riesgo de accidentes. La razón del adormecimiento en el turno nocturno es el trabajo durante el mínimo circadiano, periodos extendidos de vigilia y sueño truncado. **[16,17]**

Además de la alteración de sus ritmos circadianos, la fatiga y alteración del sueño, el trabajador tiene un estrés adicional por sus trastornos de la vida de relación doméstica y social. Dependiendo de cada individuo, tanto los padecimientos biológicos y fisiológicos, como la presión social, pueden propiciar el abandono del empleo o bien una adaptación discrecional que de ningún modo evita secuelas patológicas.

Algunas de las medidas propuestas para contrarrestar dichos efectos tienen que ver más con el diseño de los turnos, aunque por regla general, nunca se llega a una solución ideal.

1.2.5.7.3 Trabajo diurno con alumbrado artificial

Recordemos que a diferencia de la sintomatología relacionada con el sistema fisiológico de visión y las características de reproducción de la luz de las fuentes artificiales (por cierto bastante tratada en la literatura médica y luminotécnica), los padecimientos por desincronización de los ritmos circadianos han sido reportados en fechas recientes, debido básicamente a que los sistemas de iluminación han llegado a niveles y condiciones que se ha sugerido pueden influenciar la sincronización con el ciclo luz-oscuridad.

Aunado a esto, en el ámbito laboral siguen siendo mayoría los trabajadores diurnos, coincidiendo con la organización social que plantea una estructuración primaria sobre la base de la labor diurna, el ocio y recreo vespertino y nocturno temprano, y el descanso nocturno.

La utilización del alumbrado artificial durante el día y en algunos casos la exclusión de luz natural en los edificios ha derivado en espacios con un ambiente lumínico deficiente.

Desde el punto de vista médico, se ha demostrado que un alumbrado artificial inadecuado puede desincronizar la ritmicidad circadiana de las personas, reflejándose en su estado emocional, nivel de estrés y capacidad de trabajo. También se piensa que la composición espectral de la luz es importante; sin embargo, hasta ahora hay poco acuerdo en las curvas de respuesta espectral para los mecanismos psicobiológicos.

1.2.5.8 Tratamiento con luz: Fototerapia

En puntos preliminares hemos descrito brevemente algunas opciones para resincronizar o evitar la desincronización de los ritmos biológicos de las personas. En desfases de sueño se aplica la Cronoterapia [18,19] y cada vez con mayor éxito la Fototerapia. En el presente trabajo nos interesa describir en detalle esta última.

La fototerapia es desde hace tiempo una herramienta de gran valor en el tratamiento de múltiples padecimientos (Pág. 1-18). Sin embargo, sólo comenzó a utilizarse en la desincronización de los ritmos circadianos a partir de la observación realizada por Lewy et al. [20] a comienzos de la década de los 80, sobre el efecto inhibitorio de la luz brillante (2.500 lux o más) en la secreción de melatonina. Esto dio origen a una serie de estudios sobre el efecto de luces de alta intensidad en la organización circadiana humana.

En distintos experimentos controlados, se ha verificado la capacidad de la luz brillante (*bright light*) para producir retardos o adelantos de fase en individuos normales, dependiendo del momento en que se aplica la luz.

De acuerdo con los modelos cronobiológicos recientes, el encarrilamiento (ver Anexo II) a partir de la luz es más eficiente hacia el inicio del día, por la mañana y al ponerse el Sol, por la tarde [21,22]. De esta manera, las variaciones en la duración del día se convierten en un factor crucial. No obstante, poco se sabe sobre el modelo natural de la iluminación diurna y estacional a la cual la gente está expuesta normalmente. [23,24,25]

En resumen, si se exponen los relojes internos a la luz brillante, su comportamiento puede cambiarse; la exposición a la luz durante la tarde retrasa tanto el periodo de dormir como el punto máximo en el ritmo diario de la temperatura corporal.

La exposición a la luz intensa durante las horas matutinas tiene el efecto opuesto, avanzando el periodo de sueño y el punto mínimo en el ritmo diario de la temperatura corporal. De este modo, el ciclo de luz- oscuridad mantiene su control sobre el reloj biológico interno.

(Ver Figura 1-22)

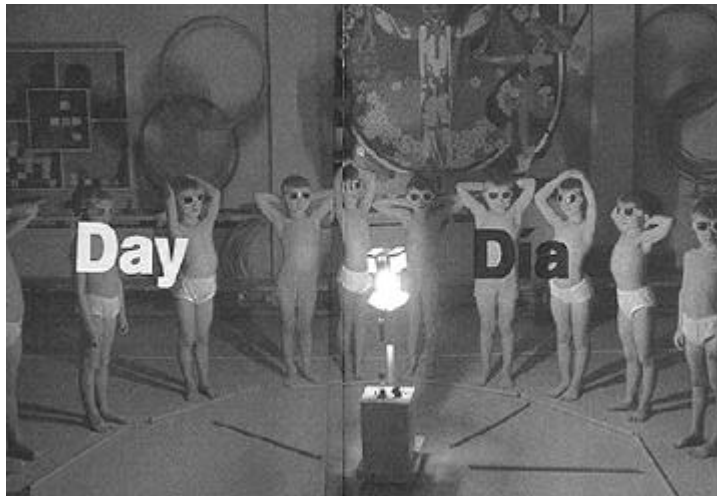


Figura 1-22. Ejemplo de fototerapia, aplicado en niños de latitudes nórdicas (Murmansk, Rusia). Fuente: Revista Colors n° 26 (1998).

1.2.5.8.1 Síndrome de Depresión Estacional

Se ha demostrado el efecto benéfico de la exposición a la luz intensa durante el amanecer en muchos pacientes con SAD, aunque también algunos estudios han utilizado con éxito la luz al atardecer en el tratamiento. Para corregir retrasos o avances de fase se ha utilizado la exposición a la luz, temprano o tarde respectivamente, en la noche subjetiva, tanto en el patrón de sueño como en otros ritmos circadianos.

La exposición suplementaria en otoño e invierno puede reducir la somnolencia excesiva de la depresión invernal, si bien el efecto terapéutico puede ser menos dependiente en la sincronización. También hay algunas evidencias de que la exposición a la luz natural puede ser una alternativa a la terapia convencional con luz artificial en pacientes con SAD. [26,27]

Un gran número de estudios se ha ocupado de la respuesta a la fototerapia en varios subgrupos clínicos. Por citar algunos, se han encontrado mejoras en pacientes con anorexia, bulimia, la enfermedad de Alzheimer y otros tipos de demencia.

1.2.5.8.2 Jet Lag

El escaso número de estudios en este campo no permite aún un juicio claro del tratamiento benéfico de la luz brillante en el jet lag. [28,29,30] No obstante, se ha desarrollado un programa de ordenador que permite a los investigadores de los ritmos circadianos mostrar las condiciones lumínicas ambientales en cualquier punto geográfico a cualquier hora. Proporcionando un itinerario de viaje y una curva de *fase de respuesta a la luz* de un usuario definido, el programa recomienda los tiempos de exposición a la luz que podrían acelerar el re-encarrilamiento de los ritmos circadianos a las nuevas zonas horarias y reducir los incómodos efectos del jet lag. [31]

Algunos autores insinúan que en un futuro quizá no muy lejano se incluirán programas de vuelo que incluyan luz brillante y sean los propios aviones los que incorporen elementos para proporcionar fototerapia a los viajeros, de manera que se reduzcan los síntomas propios del jet lag durante los vuelos transmeridianos.

1.2.5.8.3 Alteraciones del sueño

Debido a que uno de los padecimientos más frecuentes en trabajadores con turno rotatorio o prolongado es la alteración del sueño –además de la fatiga y desincronización de otros ritmos circadianos, comentados en el punto 1.2.5.7.2– la utilización de luz brillante se planteó como una solución que podía ser aplicada dentro del mismo espacio de trabajo, de manera tal que impulsos de luz de alta intensidad produjesen un cambio del estado de relajación propio del sueño, al suprimirse la producción de melatonina.

En estudios de trabajo en turnos simulados, la exposición a luz intensa durante el horario de trabajo, y el descanso en cámaras aisladas de luz, favorecieron la sincronización de los ritmos.

En general dichos estudios han indicado mejorías significativas, tanto objetivas como subjetivas, en los trabajadores en turnos, tratados mediante luminoterapia ambiental. **[32,33,34,35]**

No obstante, la propuesta de utilizar fototerapia en estos casos, tiene problemas de aceptación por parte de otros médicos, aduciendo que el efecto secundario al utilizar luz brillante y suprimir la producción de melatonina en el organismo de las personas, es un incremento en el riesgo de padecer enfermedades como el cáncer **[36]**. De cualquier forma, lo anterior está aún poco documentado.

1.2.5.9 Niveles estáticos de alumbrado artificial.

Por último nos gustaría referirnos al tema que desde esta perspectiva médica guarda más relación con la hipótesis del presente trabajo, respecto a las condiciones de alumbrado artificial en espacios laborales destinados a oficinas.

La primera consideración importante es que cuando nos hemos referido a la fototerapia con niveles elevados de luz y su aplicación en la desincronización de los ritmos circadianos, hablamos principalmente de pulsos de luz brillante, utilizados en horas concretas del día geofísico, con el fin de adelantar o atrasar la fase del ritmo circadiano.

El Dr. Charles Czeisler, miembro investigador de la Sección de Alteraciones Circadianas, Neuroendocrinas y del Sueño en la Harvard Medical School, así como de la División de Ciencias Aplicadas de la Harvard University de Massachusetts, ha contribuido enormemente con los hallazgos que fundamentan esta primera consideración.

Más tarde, en una serie de experiencias llevadas a cabo por un grupo de investigación del que el Dr. Czeisler también formaba parte, obtuvo como conclusión principal que aún niveles estáticos de hasta 180 lux pueden cambiar de fase los ritmos circadianos, cuando se está expuesto a un ciclo de luz oscuridad en proporción 16:8 horas.

Esta segunda consideración destaca en resumen que mientras la luz blanca brillante produce cambios rápidos e intensos en la hora del reloj biológico, la exposición durante mucho tiempo a niveles mucho menores de luz puede tener profundos efectos a largo plazo. Y sugiere que la exposición a la luz artificial tras la puesta de Sol en los países industrializados ha cambiado el reloj biológico en unas cuatro o cinco horas.

Es por ello que la opinión de diversos médicos, incluyendo al Dr. Czeisler, respecto al alumbrado artificial en espacios de trabajo con actividad diurna apunta hacia una posible función de 'fototerapia preventiva pasiva', en el sentido de que el ambiente lumínico actuaría como un regulador de los ritmos circadianos.

Tomando en cuenta estas consideraciones, los diseñadores de iluminación están trabajando desde hace unos años en la mejora de las condiciones lumínicas de los espacios de trabajo. Y están probando básicamente con los niveles y la variabilidad de iluminación, tanto en jornadas laborales nocturnas como diurnas.

Parte de estos trabajos serán analizados en el capítulo siguiente, ya que a continuación describiremos principalmente aquellos aspectos relacionados con los ámbitos de trabajo en oficinas.

1.3 ARQUITECTURA Y ESPACIOS DE TRABAJO. OFICINAS

1.3.1 Introducción

Hablábamos al principio del capítulo acerca de la diversificación de actividades que se ha ido desarrollando en las sociedades actuales. La forma de organización en que éstas se han constituido, hizo surgir ya desde siglos pasados un espacio de trabajo dedicado no directamente a la producción como tal, sino a la administración y el manejo de información.

Nos referimos al concepto de *oficina*, del cual es muy interesante observar su evolución como espacio de trabajo, ya que puede ser enfocado una vez más desde el punto de vista de los avances tecnológicos y culturales. En este caso, se incorporan nuevos elementos cuyos adelantos han ido determinando la configuración de los edificios de oficinas contemporáneos.

En el esquema siguiente (**Figura 1-23**), intentaremos resumir los principales factores que consideramos definen las bases para proyectar un edificio de oficinas en nuestros días.

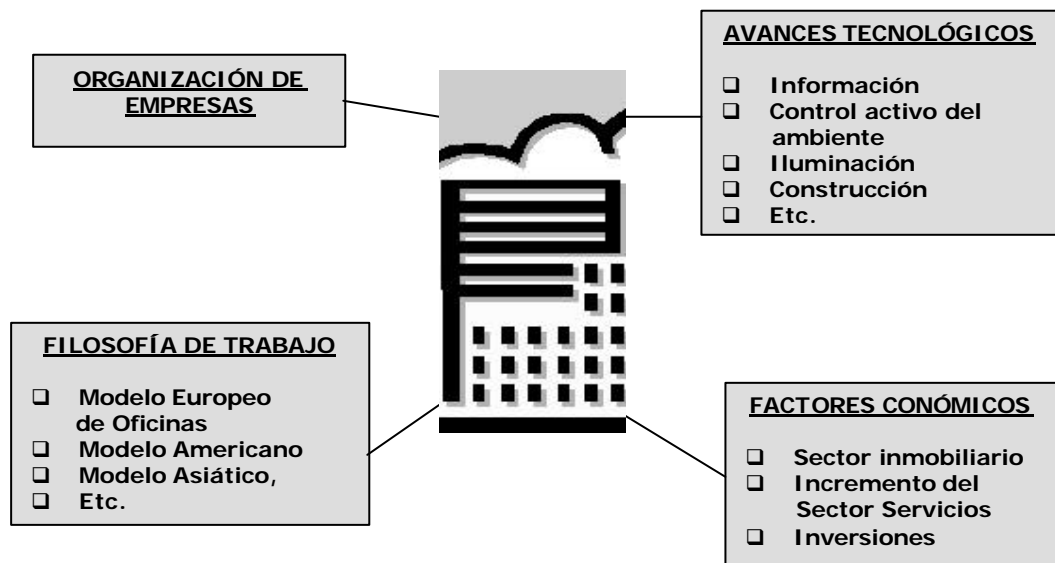


Figura 1-23. Esquema de los elementos principales que contribuyen con la conformación de los edificios de oficinas en la actualidad.

A pesar de que el tema de las oficinas es un tema complejo debido a las diversas tipologías que existen [37] y a que no se pueden generalizar las situaciones, intentaremos sintetizar los puntos más relevantes para el presente trabajo, los cuales consideramos justifican el hecho de que se haya elegido este tipo de espacio para su análisis:

- ❑ La cantidad de personas que trabajan en oficinas, representa un elevado porcentaje de trabajadores en horario diurno.
 - ❑ El desarrollo del alumbrado artificial como un factor determinante en los espacios interiores.
 - ❑ El tiempo de permanencia de los usuarios de oficinas bajo un ambiente lumínico determinado.
-

1.3.2 Evolución de las oficinas. Siglo XX

Es importante señalar cómo los conceptos mencionados en el apartado anterior pueden observarse en los siguientes ejemplos de algunas décadas del siglo pasado [38,39,40]. Intentaremos resaltar sobre todo los aspectos que resultan más evidentes acerca de los cambios que se dieron entre una década y otra.

1900



The Larkin Building. Buffalo. New York. 1904

En este ejemplo de oficina norteamericana de 1904 podemos observar el rígido modelo *Taylorista* de organización de oficinas. Diseñado por el arquitecto norteamericano Frank Lloyd Wright, el edificio fue en su tiempo un ejemplo de conjunción de elementos tecnológicos, novedosos para la época, empleados tanto en la construcción, como en los sistemas de organización y herramientas de trabajo.

1930



Johnson's Wax Buildings, Racine, Wisconsin, 1936-39

Con otro ejemplo de edificio de oficinas norteamericano, diseñado por el mismo arquitecto, observamos que durante esta década, no obstante el cambio a una organización más flexible –la falta de incorporación de las necesidades del personal con respecto al mobiliario y al ambiente, los cuales respondían más a cuestiones estéticas y de estilo, que funcionales–, resulta evidente.

1950

En las oficinas de esta década la organización se percibe aún rígida, predominando el trabajo individual y la jerarquización y status de los puestos de labor. Del mismo modo, podemos apreciar una constante funcional que ya comenzaba a ser evidente en aquella época, y es que se dejaba de lado al trabajador, anteponiendo elementos prácticos, como el simple hecho de alejar los puestos de trabajo del acceso a la luz natural, y con ello conseguir más superficie construida. Ya que aún se trabajaba básicamente con papel, algunas veces se seguía la lógica de la planta de fabricación, de esta forma el trabajo era entregado y recogido por cualquier dispositivo que se tuviese a mano.



Un ejemplo de oficinas de esta década.

1960



The Seagram Building, New York, 1954-58

En este interior de un rascacielos, se mezclan varios conceptos. Construido por los arquitectos Mies van der Rohe y Philip Johnson a finales de los años 50, muestra una clara jerarquía que indica, tanto por su configuración como por el mobiliario utilizado, que es una oficina de un puesto elevado en la estructura de empresa. Esto lleva intrínseco una serie de elementos relacionados con la especulación inmobiliaria y con el concepto de organización vigente en la época. De acuerdo con el rango que tuviese el trabajador gozaba de más privilegios sobre el entorno de trabajo.

1970

Ejemplo de un interior de oficinas europeas en UK. Podemos ver, tanto la mecanización de las herramientas de trabajo utilizadas, como una mayor plasticidad en la organización del espacio y control del personal. Sin embargo paralelamente en esta década, antes de la gran crisis energética, comenzó a proliferar el diseño de espacios cada vez más artificialmente alejados del entorno natural, que como se vería más adelante, influía directamente en la salud de los trabajadores, ya que los sistemas de acondicionamiento del ambiente resultaban ser bastante inadecuados.



Metal Box Ltd interior, Reading, by Llewelyn-Davies Weeks Forestier-Walker and Bor, 1975

1980



En esta imagen podemos ver los efectos directos de la tecnología de la información – cables, focos de calor, problemas ergonómicos y ambientales– resaltados en los años 80 por los estudios de ORBIT (Office Buildings and Information Technology). La popularización de los ordenadores personales, teléfonos móviles, ordenadores portátiles, módems, etc. tuvieron a partir de esta década gran influencia no sólo en la arquitectura, sino en la organización de empresas y hasta en la vida de los trabajadores.

1990

Los estudios realizados en E.U.A. y en el R.U., acerca de cómo incorporar a la arquitectura y el diseño la nueva tecnología de la información, influenciaron la construcción de edificios posteriores de oficinas y la modificación de los existentes. En este caso reflejadas en una estructura organizacional estable, transparente y abierta. No obstante, aún no se considera suficiente para generar un ambiente adecuado de trabajo.



*London Underground, Canary Wharf, London.
Architect: Pringle Brandon*

2000



Andersen Worldwide, Chicago, USA, 1996.

Los edificios de oficinas más recientes han incorporado las facilidades para desenvolverse con la tecnología de la información y los sistemas de acondicionamiento del ambiente pasivos y activos, así como con la tecnología de la construcción y las nuevas filosofías de trabajo.

Cada vez se pone más énfasis también en un ambiente adecuado para los trabajadores. Y la tendencia actual es permitir a los usuarios modificar su entorno de trabajo de acuerdo a sus propias necesidades.

Los ejemplos anteriores intentan resumir los principales cambios que han experimentado los edificios de oficinas a lo largo de un siglo. La complejidad de los factores que contribuyeron con dichos cambios no es objetivo de análisis en el presente trabajo, sin embargo queremos resaltar que una parte del desarrollo tecnológico que ha permitido la actual configuración de las oficinas, se ha encaminado hacia el alumbrado artificial y su aportación al ambiente lumínico.

Junto con las más vanguardistas tendencias organizacionales, en las cuales se propone mucha más libertad de movimiento a los trabajadores y una labor de trabajo en equipo, también se sugiere que debe crearse un ambiente lumínico dentro del cual las personas se sientan más confortables, experimenten mayor bienestar y que naturalmente ello redunde en una mayor productividad de las empresas.

Aunque para nosotros no sea más importante la productividad que la salud de las personas, creemos que estas nuevas tendencias generarán cambios en la configuración de los espacios de trabajo a un mediano y largo plazo.

El alumbrado artificial también se ha transformado, no sólo debido a la cuestión tecnológica, sino también a razones culturales, de filosofías de empresa, etc. Y gracias a la investigación y la necesidad de reglamentar su uso podemos analizar cuáles han sido dichos cambios.

1.3.3 Evolución del alumbrado interior en oficinas. Siglo XX

Las principales características del alumbrado artificial que han variado a lo largo del tiempo involucran cambios en la cantidad y calidad de la luz producida por sus componentes básicos, lámparas y luminarias, así como en la infraestructura necesaria para hacerlo funcionar, cables, soportes, etc. Todo ello ha tenido una fuerte repercusión en la arquitectura, ya que aunada a la configuración tradicional de permitir la entrada de luz natural, había que incorporar sitios para instalaciones, controles, etc. Las dimensiones de los espacios por lo tanto, también se vio afectada.

Un breve resumen de cómo fueron apareciendo los diversos tipos de lámparas y luminarias nos darán una idea de los cambios que ha vivido el alumbrado artificial a través del tiempo y algunas imágenes representativas de ciertas épocas nos mostrarán las diferencias, sutiles a veces, que dichos cambios han representado en la arquitectura de los edificios de oficinas.

Desde que Edison patentase su bombilla eléctrica, el diseño se mejoró y a partir de allí se fueron introduciendo nuevos tipos de lámparas; la de vapor de mercurio se introdujo hacia los años 30, muy poco después, en 1939 la lámpara fluorescente se presentó durante la Exposición Internacional. La lámpara de tungsteno-halógeno apareció hacia los años 50; las de halogenuros metálicos y sodio de alta presión son de los 60.

La introducción de las lámparas sin electrodos (LEDs) en 1990 es un indicador del dinamismo en la industria de la iluminación y se espera que la aparición de nuevas fuentes de luz se mantenga en los rangos del siglo pasado [41]. En la **Figura 1-24** podemos ver representados los diversos tipos de lámparas disponibles en la actualidad (dibujos sin escala).

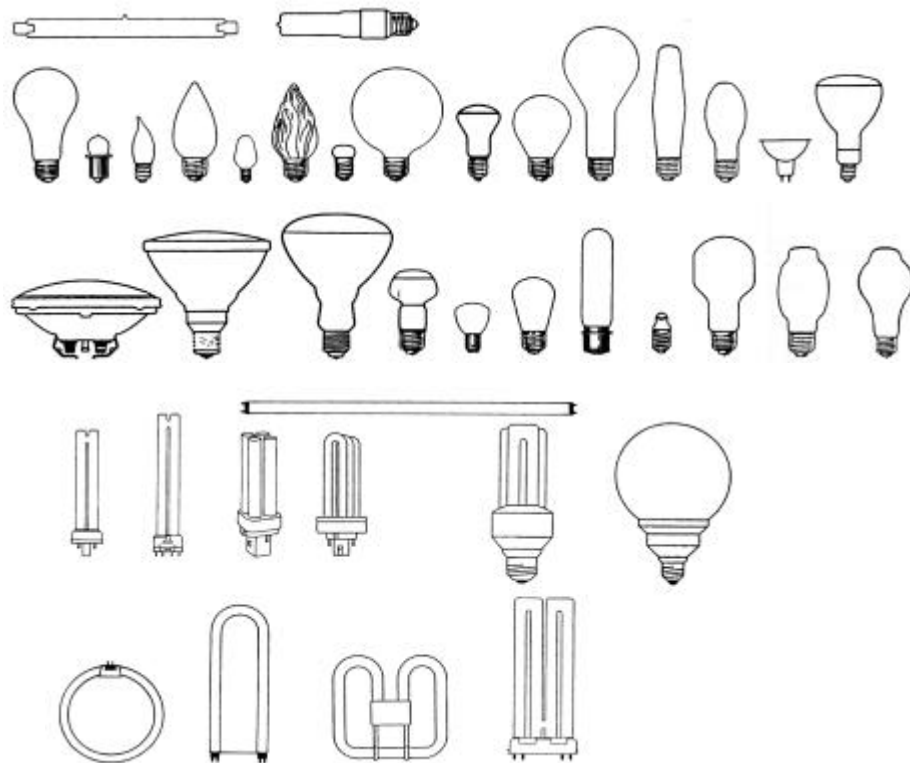


Figura 1-24. Algunos de los tipos de lámparas incandescentes, fluorescentes, etc. de que se dispone en la actualidad.

Las luminarias son dispositivos para producir, controlar y distribuir la luz. Es una unidad de iluminación completa consistente en los siguientes componentes: una o más lámparas, dispositivos ópticos diseñados para distribuir la luz, portalámparas para colocar y para proteger las lámparas y para conectar las lámparas a una fuente de energía eléctrica y los componentes mecánicos que se requieren para sujetar y adosar la luminaria.

El tamaño, los materiales, las propiedades térmicas, el desempeño fotométrico y los requerimientos de energía de la luminaria dependen del tipo de lámpara utilizado. Por ejemplo, las lámparas que producen una gran cantidad de radiación infrarroja (IR) o calor, requieren de luminarias ventiladas por convección, y las lámparas fluorescentes que son sensibles a la temperatura ambiente, deben protegerse de las bajas temperaturas del aire [42]. En la **Figura 1-25** vemos algunos ejemplos de luminarias más comunes.

El desarrollo a través del tiempo de las luminarias y los demás componentes del sistema de iluminación ha seguido los pasos de las lámparas, y se ha adecuando a ellas, convirtiéndose en sistemas cada vez más eficientes de producción de luz.

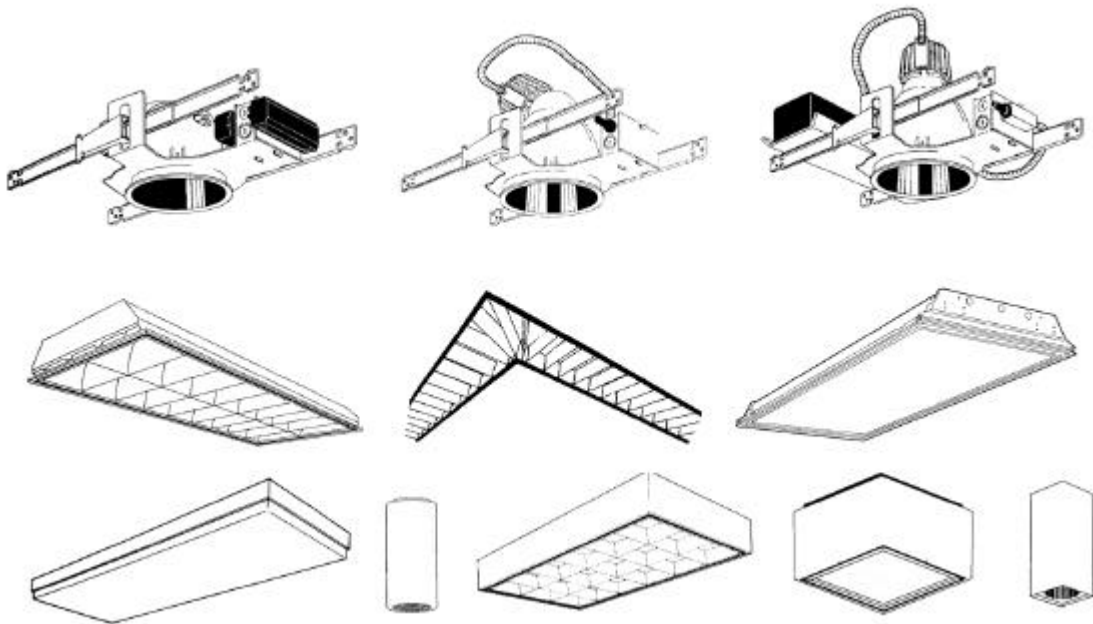


Figura 1-25. Algunos de los tipos de luminarias más utilizados en oficinas actualmente.

En los siguientes ejemplos veremos algunas imágenes de interiores de oficinas donde podremos apreciar algunas de las transformaciones del alumbrado artificial en diferentes décadas del siglo pasado (**ver Figuras 1-26/1-29**). Nuestro objetivo en este apartado no es analizar una caracterización por tipo de lámparas y luminarias, sino simplemente hacer ver aquellos cambios, sutiles a veces, que el alumbrado artificial ha provocado, –junto con muchos más elementos– en el ambiente lumínico y en la configuración de los espacios de trabajo en oficinas.



Figuras 1-26 y 1-27. Ejemplos de alumbrado artificial en oficinas, décadas 1900 y 70, respectivamente



Figuras 1-28 y 1-29. Ejemplos de alumbrado artificial en oficinas, décadas 90 y 2000, respectivamente.

Junto con el desarrollo tecnológico experimentado por el alumbrado artificial, el campo de la Luminotecnia también ha evolucionado. Los ingenieros en iluminación, arquitectos y diseñadores han pasado, desde contemplar en el diseño de iluminación de los espacios de trabajo los últimos descubrimientos sobre la percepción visual (visual performance) hasta alcanzar la satisfacción visual (visual amenity). Es por ello que la preponderancia en Luminotecnia se ha basado en las consideraciones ópticas de la luz.

Pero ahora debemos revisar los planteamientos tradicionales, ya que el desarrollo experimentado por el Alumbrado Artificial a partir de mediados del pasado siglo XX, ha intensificado su uso hasta límites en los que su acción sobre el ser humano supera lo meramente óptico y es posible detectar su influencia en otros aspectos biológicos. Como veremos en el siguiente capítulo, los estudios provenientes en principio del Área Médica, han llegado a confluir con los propios del Área Luminotécnica.

Es por ello que en la actualidad debemos añadir una nueva dimensión que tome en consideración las influencias no visuales que experimenta el usuario de nuestras instalaciones de Alumbrado Artificial.

En ese sentido, la contribución que se ha hecho recientemente al incorporar elementos más flexibles en el ambiente lumínico de los espacios de trabajo (la utilización de luminarias individuales, como se aprecia en la Figura 1-30, o el uso de células fotoeléctricas para combinar luz natural con artificial), puede ser retomada y reconducida al grado de mejorar el bienestar de las personas.



Figura 1-30. Ejemplo de un alumbrado artificial más flexible en oficinas.

1.3.4 Niveles de iluminación en oficinas

1.3.4.1 Consideraciones generales

Tal como hemos comentado anteriormente, el nivel de iluminación es sólo una de las características de la luz, tanto natural como artificial. Conceptos como direccionalidad, temperatura de color, índice de reproducción cromática son otros de los conceptos que describen sus cualidades.

Sin embargo, como parámetro de diseño, el nivel de iluminación siempre ha estado presente en las recomendaciones y normativas de las organizaciones internacionales de Luminotecnia que las rigen, porque se ha demostrado desde diversos puntos de vista, que es un parámetro fácilmente cuantificable e influye mucho sobre el ambiente lumínico.

En un estudio llevado a cabo recientemente [43], se comenta: *“el nivel de iluminación recomendado [Anexo I] sólo es uno de los muchos parámetros que el diseñador de iluminación debe tomar en cuenta a la hora de diseñar una instalación. Sin embargo, a diferencia de otros parámetros este siempre se considera”*.

En dicho estudio, los autores realizaron una encuesta de la situación en varios países – (Alemania, Australia, Austria, Bélgica, Brasil, China, Dinamarca, EUA/Canadá, Finlandia, Francia, Holanda, Japón, México, Reino Unido, República Checa, Suecia, Suiza, Unión Soviética) y las Normas Europeas propuestas en 1996 CEN TC-169–, cuyo resultado reveló que los niveles de iluminación han estado cambiando rápidamente desde los años 30.

Un resumen presentado en el artículo de la variación a lo largo de las casi 80 décadas, nos indica las fluctuaciones en los valores asignados para cada tarea en diferentes ámbitos de edificios (**ver Figura 1-30**).

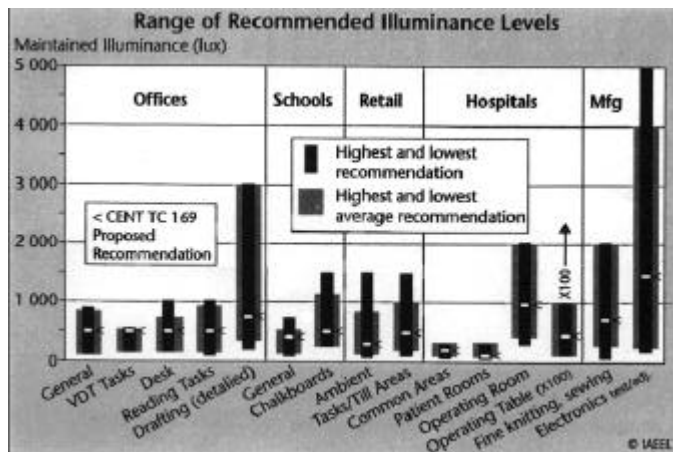


Figura 1-30 Rango de niveles de iluminación recomendados. Comparación entre 19 países. Fuente: Borg y Mills (1998)

En el caso de edificios de oficinas, el estudio analiza los valores recomendados –que varían entre 10 y 15– para diversas actividades de los 19 países. Las variaciones más significativas se dan entre tareas de lectura (75 a 1000 lux), dibujo a detalle (200 a 3000 lux), ver **Figura 1-31**.

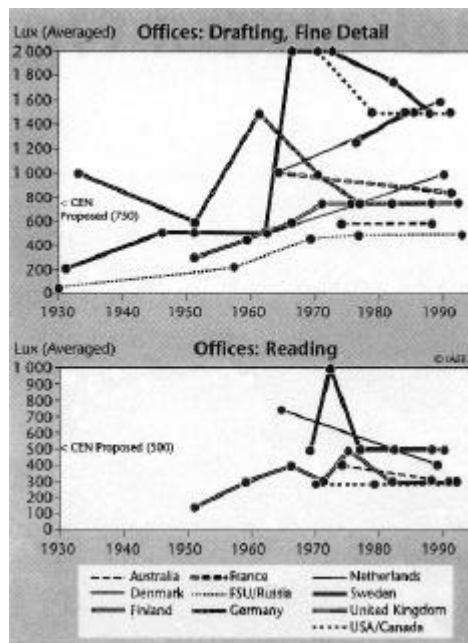


Figura 1-31 Rango de niveles de iluminación recomendados para tareas de dibujo a detalle y lectura, a lo largo de 6 décadas en 10 países. Fuente: Borg y Mills (1998)

□ **Incremento y descenso**

De acuerdo con el estudio, casi sin excepción, hubo un incremento en los niveles entre los años 30 y 70. Pero desde principios de los 70, los parámetros vistos hasta ese momento cambiaron de dirección.

Por ejemplo, la recomendación para iluminación general en oficinas en Finlandia bajó de 450 lux en 1974 a 225 lux en 1985 y las recomendaciones alemanas para tareas de lectura bajaron de 750 lux en 1970 a 400 lux en 1991. Aún aquellas tareas demandantes como el dibujo a detalle y la lectura sobre la pizarra, mostraron reducciones de 50% o más.

Y una de las disminuciones más significativas para tareas de VDT –Visual Display Task, por sus siglas en inglés (en castellano PVD, Pantalla de Visualización de Datos)–, en las recomendaciones de la IES (Illuminating Engineering Society) de Norte América fue de 1500 lux en 1972 a alrededor de 300 lux en las recomendaciones de 1993.

La naturaleza dinámica de las recomendaciones sobre iluminancias es el resultado de una variedad de factores, incluyendo los cambios en los puntos de vista concernientes a la cantidad de luz que se necesita para desarrollar una tarea dada.

Este desarrollo dinámico también refleja una tendencia hacia la utilización de unas más comprensibles recomendaciones de iluminación cuando están hechas dentro del contexto de otros atributos de calidad de la iluminación como el índice de deslumbramiento y el rendimiento de color.

Además, las consideraciones económicas también desempeñan un papel en el incremento o descenso. Por ejemplo, la comercialización de la lámpara fluorescente en los años 30 hizo posible incrementar drásticamente los niveles de luz sin pagar la pena correspondiente en los costes de energía o calentamiento excesivo.

□ La dimensión energética

La asignación y aplicación de niveles de iluminación representan un área importante donde coinciden iluminación y análisis de energía. En ambos campos, los niveles lumínicos sólo son uno de los muchos parámetros relevantes que describen los sistemas y su desempeño. No obstante, en ambos casos, los niveles de iluminación cumplen una función útil en cuanto ayudan a cuantificar la relación servicio de iluminación-cantidad de energía gastada.

Los estándares de iluminancia también pueden ser usados para favorecer el ahorro de energía con la utilización de la luz natural, como es el caso de Austria, Holanda, Rusia y Suiza, los cuales requieren que muchos tipos de espacios de trabajo tengan acceso directo a la luz natural.

Según los autores, las medidas tomadas en el campo de los niveles de luz existentes, seguidas por el ajuste de niveles actuales, de conformidad con las recomendaciones, producirá en muchos casos ahorros de energía.

Para algunos países las reducciones en los niveles de iluminación recomendados a lo largo del tiempo podrían, salvo alguna excepción, haber compensado el último crecimiento en la demanda de electricidad para iluminación, debido a la creciente superficie cubierta.

Las recomendaciones europeas CEN propuestas, podrían tener un efecto significativo en el uso futuro de la energía de iluminación. Para el alumbrado de detalle (ambiente), los niveles propuestos son 45% más bajos que las actuales recomendaciones en Francia, 20% más bajos que las recomendaciones medias de Bélgica y alrededor de 30% más bajos que aquellos de Finlandia. Por otro lado los niveles propuestos para tareas con PVD son más altas que en la mayoría de las recomendaciones nacionales actuales.

La presencia o ausencia de la iluminación de la tarea es central en el rendimiento energético total del sistema de alumbrado. El estándar japonés de iluminación proporciona una guía muy extensa cuando se trata de los niveles de iluminación

requeridos para tareas específicas, alentando a los diseñadores a reducir la iluminación ambiente hasta un décimo de la iluminación de la tarea. El acercamiento japonés a articular sus recomendaciones, facilita la especificación de la iluminación de la tarea por parte de los diseñadores.

□ **Actividades y cambio de tecnología**

La naturaleza cambiante de ciertas actividades sugiere otro acoplamiento potencial entre los niveles de la iluminación y el uso de la energía. Una ilustración clara es la importancia del incremento de ordenadores y de PVD en el lugar de trabajo. Las PVD están sustituyendo a las mesas de dibujo y muchas de las actividades de lectura y escritura sobre papel. Estas tareas requieren menos iluminación cuando la herramienta de trabajo es el ordenador que cuando es tinta y papel.

Una depreciación asumida del orden de 20-30% de los lúmenes de la lámpara ha sido tradicionalmente introducida en estándares y en cómo los diseñadores interpretan esos estándares. Hoy, las nuevas fuentes de luz, tales como lámparas fluorescentes del trifosfatos de 26 milímetros (T8) y las recientemente introducidas de 16 milímetros (T5), muestran una depreciación mínima. De manera similar, los balastos regulables permiten el mantenimiento automatizado del lumen en un cierto plazo.

Tales tecnologías disminuyen la necesidad de estándares de iluminación al anticipar reducciones en las iluminancias entregadas en un cierto plazo, y, consecuentemente, las densidades de potencia iniciales de la iluminación pueden disminuirse sin el compromiso del nivel de la iluminación.

El cambio reciente del valor medio mantenido al valor mantenido de iluminación en el Reino Unido, aumentará el uso de la energía donde están instaladas lámparas de alta potencia, mientras que sigue habiendo los medios de alcanzar los valores nominales de iluminación allí donde las recomendaciones CIBSE de 1994 permanezcan sin cambio. Las recomendaciones CEN propuestas también están definidas en términos de los niveles mantenidos, incluso donde substituyen a los actuales niveles medios recomendados.

□ ¿Cuál es la luz correcta?

Ciertamente hay más en el diseño de iluminación que la especificación de los niveles de iluminación. La calidad de la iluminación es una función de muchos otros factores, incluyendo la orientación espacial (iluminancia vertical contra horizontal), contenido fotópico/escotópico, deslumbramiento, contraste, rendimiento de color, temperatura de color y parpadeo. Esto además complica el problema de definir las principales medidas de los servicios de la iluminación (en términos tanto de la utilización de la energía, como de la calidad de la iluminación).

Recientemente ha habido una tendencia hacia la formulación de recomendaciones de iluminancia y su asociado diseño de iluminación, de una manera más sofisticada y algunas veces más flexible. En muchos países europeos el criterio de deslumbramiento y las recomendaciones concernientes al rendimiento de color han estado disponibles desde los años 60.

En otros países, según las características del estándar japonés más reciente para la iluminación de oficinas, los criterios de deslumbramiento han sido introducidos sólo recientemente junto a los rangos de iluminación. El estándar ruso actual especifica índices de deslumbramiento, rangos recomendados de limpieza de luminarias e índices para todas las aplicaciones de alumbrado, así como los índices de rendimiento de color y rangos de temperatura de color para configuraciones industriales y residenciales.

También hay una tendencia hacia la especificación de iluminancias para tipos específicos de actividad más que para los tipos de configuración arquitectónica, y se está volviendo cada vez más común tomar una aproximación más holística que combina iluminación ambiente y de la tarea.

Aún no hay un consenso entre países acerca del 'nivel correcto' específico por tarea y tipo de edificio –aún dentro de un país dado, a lo largo del tiempo–. Los niveles actuales de iluminación recomendados en varios países están tendiendo a converger en niveles perceptiblemente más bajos que en aquellos existentes en décadas recientes.

Con toda probabilidad, el futuro verá unas consideraciones más sofisticadas de integración energética y no energética en el diseño de iluminación, pues aunque ha sido una medida conveniente de los servicios de energía de iluminación, el lux es solamente un indicador aproximado e incompleto. Al final esta tendencia ayudará probablemente a llevar más lejos el rendimiento energético de los servicios de iluminación.

1.3.4.2 Normativas y recomendaciones del alumbrado artificial en oficinas.

Las condiciones de ambiente lumínico en Europa se determinan partiendo básicamente de las Normas establecidas por la CIE (Comisión Internacional de Iluminación). En ellas se hace referencia fundamentalmente a los niveles de iluminación dependiendo de la actividad visual a desarrollar.

1.3.4.2.1 Guía Interior CIE (Comité internacional de Iluminación)

En la Guía de Iluminación Interior de la CIE [44] se establecen recomendaciones generales de alumbrado, basándose en los siguientes conceptos: visibilidad y satisfacción visual; potencial de ejecución y actitud en la ejecución de tareas; rendimiento visual; detalle crítico; nivel de adaptación; factor de luminancia y direccionalidad de la iluminación.

La escala de iluminancias recomendada por la CIE es: 20-30-50-75-100-150-200-300-500-750-1000-1500-2000-3000-5000 lux. Y proponen los rangos de iluminancia que aparecen en la siguiente **Figura (1-32)**.

| Rango de iluminancia Recomendada (lx) (*) | Tipo de área o actividad |
|---|--|
| 20-30-50 | Pasillos y áreas de circulación y áreas de trabajo. |
| 50-100-150 | Áreas de circulación (**), orientación sencilla o visitas de corto tiempo. |
| 100-150-200 | Habitaciones de trabajo que no se utilizan de forma continua. |
| 200-300-500 | Tareas con exigencia visual simple. |
| 300-500-750 | Tareas con exigencia visual media. |
| 500-750-1000 | Tareas con exigencia visual alta. |
| 750-1000-1500 | Tareas con exigencia visual dificultosa. |
| 1000-1500-2000 | Tareas con exigencia visual especial. |
| Por encima de 2000 | Realización de una tarea visual muy exacta. |

Figura 1-32. Rangos de iluminancia recomendada para áreas o actividades diferentes.

(*) En algunos países la iluminancia recomendada se expresa en términos de iluminancia de servicio, en otros países en términos de iluminancia de mantenimiento.

(**) Para áreas de circulación, el valor debería relacionarse con las iluminancias en las áreas de trabajo o espacios adyacentes.

Luego establece ejemplos de tablas de iluminancias recomendadas para que cada país elabore las propias conforme a los lineamientos de cada gobierno.

1.3.4.2.1 Guía Técnica

En España, de acuerdo con la Guía Técnica para lugares de trabajo [45] en lo que concierne a iluminación, destacaremos los siguientes puntos:

Artículo 8.

La iluminación de los lugares de trabajo deberá permitir que los trabajadores dispongan de condiciones de visibilidad adecuadas para poder circular por los mismos y desarrollar en ellos sus actividades sin riesgo para su seguridad y salud. Los niveles mínimos de iluminación de los lugares de trabajo serán los establecidos en la siguiente **Figura (1-33)**:

| Zona o parte del lugar de trabajo (*) | Nivel mínimo de iluminación (Lux) |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| Zona donde se ejecuten tareas con: | |
| 1º Bajas exigencias visuales | 100 |
| 2º Exigencias visuales moderadas | 200 |
| 3º Exigencias visuales altas | 500 |
| 4º Exigencias visuales muy altas | 1.000 |
| Áreas o locales de uso ocasional | 50 |
| Áreas o locales de uso habitual | 100 |
| Vías de circulación de uso ocasional | 25 |
| Vías de circulación de uso habitual | 50 |

Figura 1-33. Rangos de iluminancia recomendada para áreas o actividades diferentes.

Los aspectos que de acuerdo con la Guía deben ser considerados para el acondicionamiento lumínico adecuado son: las exigencias visuales de la tarea; control de deslumbramiento; uniformidad de la iluminación; equilibrio de luminancias en el campo visual; control de reflejos; direccionalidad de la luz; temperatura de color de las lámparas; sistemas complementarios de iluminación localizada y la integración de la luz natural.

En el punto IV, Anexos a la Guía, se proporcionan los siguientes datos (ver Figura 1-34):

ANEXO A: TABLAS DE ILUMINACIÓN

| C : OFICINAS | | | | |
|--|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| Lugar o actividad | Em⁽¹⁾ | UGR⁽²⁾ | Ra⁽³⁾ | Observaciones⁽⁴⁾ |
| Lectura, escritura, mecanografía, proceso de datos | 500 | 19 | 80 | Acondicionar las pantallas de visualización |
| Dibujo técnico | 750 | 16 | 80 | |
| Diseño asistido (CAD) | 500 | 19 | 80 | Acondicionar las pantallas de visualización |
| Salas de reunión | 500 | 19 | 80 | |
| Puestos de recepción | 300 | 22 | 80 | |
| Almacenes | 200 | 25 | 80 | |

Figura 1 -34. Rangos de iluminancia recomendada para áreas o actividades diferentes en oficinas. (Tomado del proyecto de norma europea prEN 12464)

- (1) Em. Nivel medio de iluminación mantenido sobre el área de trabajo, en lux.
- (2) UGR. Índice unificado de deslumbramiento ("Unified Glare Rating) obtenido con arreglo al procedimiento dado por CIE en su publicación N° 117. (Para un determinado sistema de iluminación puede ser suministrado por la empresa instaladora).
- (3) Ra. Índice de rendimiento de color de las fuentes de luz (suministrado por el fabricante). El valor máximo de Ra es de 100.
- (4) Observaciones. Entre otros requisitos de un sistema de iluminación, se encuentra el de la temperatura de color de las fuentes de luz, Tc, expresada en grados Kelvin. Este parámetro hace referencia a la tonalidad de la luz.

1.3.4.2.3 Recomendaciones IESNA

Por otra parte, en el Lighting Handbook de la IESNA (Illuminating Engineering Society of North America), en el capítulo dedicado a Office Lighting [46] se propone a los diseñadores de alumbrado interior una serie de recomendaciones por tipo de actividad, de las cuales nosotros hemos tomado sólo aquellas que dan un valor , tanto para los niveles de iluminación, como para otros aspectos (ver Figura 1-35).

Obsérvese que aquí aparecen recomendaciones donde podemos apreciar conceptos de sistemas de control y flexibilidad.

| OFICINAS | | | | | |
|---|------------------------------------|------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------------|
| Actividad | I_h⁽¹⁾ | C⁽²⁾ | I_v⁽³⁾ | C⁽⁴⁾ | S⁽⁵⁾ |
| Archivo | | E | | C | |
| Oficinas generales y privadas | | | | | |
| Oficinas de planta abierta | | | | | |
| Uso intensivo PVD | | D | | B | |
| Uso intermitente PVD | | E | | B | |
| Oficinas privadas | | E | | B | |
| Bibliotecas | | | | | |
| Vestíbulos, salas de descanso y recepción | | C | | A | |
| Clasificación de correo | | E | | A | |
| Cuartos de copiado | | C | | A | |
| Tareas de lectura | | | | | |
| Tareas copiadas | | E | | A | |
| Procesamiento de datos | | | | | |
| PVD | | A | | A | |
| Otros | | D | | | |
| Cuartos de máquinas | | D | | | |
| Tareas manuscritas | | D | | | |
| Tareas impresas | | E | | | |

Figura 1-35. Recomendaciones de IESNA Lighting Design Guide para diversas actividades en oficinas

- (1) I_h Iluminancia horizontal (por orden de importancia*)
- (2) C Categoría por orden alfabético (> 30 lux)
- (3) I_v Iluminancia vertical (por orden de importancia*)
- (4) C Categoría por orden alfabético (> 30 lux)
- (5) S Sistema de control y flexibilidad

* Orden de importancia de las características de la luz por actividad:

Muy importante
 Importante
 Algo importante
 No importante o no aplicable

1.3.5 Sistemas regulables de alumbrado artificial en interiores.

Dentro de los puntos más evidentes a tratar a este respecto está el gran cambio que ha representado la aparición de los sistemas de regulación y control de alumbrado para interiores, puesto que desde hace tiempo tenemos las herramientas para modificar el ambiente lumínico de los espacios, dependiendo de las necesidades visuales, biológicas y fisiológicas de los ocupantes.

Surge entonces el concepto de flexibilidad en el alumbrado. Para obtener esta flexibilidad se requiere de paquetes de flujo luminoso y su distribución variable, así como la posibilidad de controlar la instalación de alumbrado con gran nivel de detalle. Actualmente esto es posible gracias a la electrónica.

Nos encontramos ahora en un momento de avance tecnológico importante, en el cual se dispone realmente de sistemas eficientes de regulación y control del alumbrado artificial. La tecnología de control existe en muchas y diferentes formas; la única condición es que debemos adaptarla a las necesidades específicas del alumbrado. Podemos distinguir tres categorías:

- a) Control y regulación manual
- b) Control y regulación individual remotos
- c) Sistemas de gestión de alumbrado con posibilidades de control y regulación tanto manual como programado mediante ordenador, conjuntamente con funciones de registro y monitorización.

A continuación se presenta un breve resumen de los elementos que componen un sistema de regulación y control de alumbrado variable.

Los datos se han extraído del Cuaderno No. 4 de Eficiencia Energética en Iluminación [47], y se refieren básicamente a sistemas propuestos dentro del marco del Acuerdo de Colaboración entre el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). **Ver Figura 1-36**

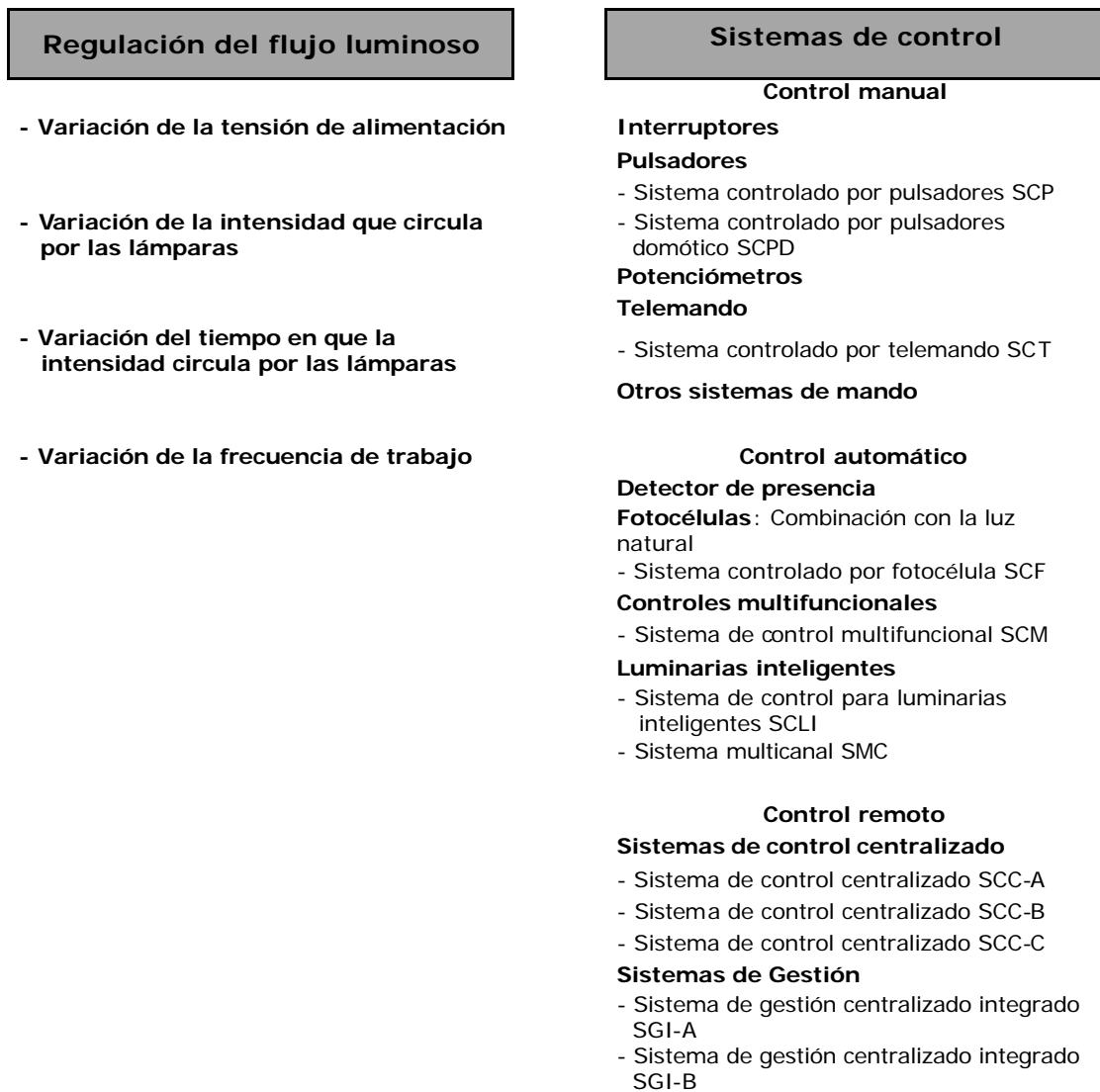


Figura 1-36. Resumen de los principales elementos que permiten la variabilidad del alumbrado artificial.

1.3.6 Problemática medioambiental. Consumo energético

Entre todas las energías de utilización, el porcentaje de la eléctrica ha ido creciendo. El consumo de energía eléctrica por habitante constituye uno de los índices del grado de desarrollo de un país.

De igual forma, la energía eléctrica es un verdadero lujo que pagamos caro, y no solamente por el precio del kWh, sino también por las contaminaciones ambientales y de paisaje que a veces ha comportado. Si se genera a partir del petróleo, como es frecuente, entre el contenido energético de este recurso natural y la energía de llegada al producto final (trabajo, calor, etc.) resultan rendimientos que se encuentran entre el 30% (incluyendo las pérdidas de extracción) y alrededor del 75% tratándose de la bomba de calor. Estas breves consideraciones hacen ver que el malbaratamiento de la energía eléctrica constituye un factor negativo para la economía de un país [48].

El alumbrado artificial no es el elemento único que influye negativamente sobre el medio ambiente y el consumo energético, pero para los fines de este trabajo es importante analizar en este ámbito las acciones que pueden ser planteadas a futuro para disminuir su implicación, a partir de los conocimientos y experiencias adquiridos hasta hoy. Volviendo a las conclusiones expuestas en el Panel "Alumbrado Artificial. Calidad de vida y sostenibilidad" en el XXVI Simposium Nacional de Alumbrado [49], podemos decir que los campos de acción en la búsqueda del desarrollo sostenible del Alumbrado Artificial respetuoso con el medio ambiente y las personas, a grandes rasgos serían lo siguientes:

- ❑ **Desarrollo de sistemas eficientes.**
 - ❑ **Diseño de sistemas poco contaminantes.**
 - ❑ **Utilización de energías alternativas.**
 - ❑ **Reducción de niveles.**
 - ❑ **Limitación de usos.**
 - ❑ **Favorecer la luz natural.**
-

Una mayor preocupación ambiental, como sugieren los autores, significa para nosotros un acercamiento al problema desde una perspectiva determinada acorde a nuestros alcances y limitaciones, pero también a un tema que resulte relevante dentro del ámbito del alumbrado artificial, como lo es su implicación sobre la salud de las personas.

En todo caso nuestro trabajo se enfoca a los niveles de iluminación y su posible modificación, buscando las mejores condiciones no sólo para las personas, sino para el medio ambiente.

1.4 CONCLUSIONES

Para concluir, quisiéramos destacar los puntos más importantes expuestos en los apartados del presente capítulo:

- **El ambiente lumínico forma parte del ambiente global en los espacios interiores, junto con el ambiente térmico y acústico. Todos influyen sobre los procesos de intercambio energético entre el ser humano y el medio ambiente exterior a través del espacio construido.**
 - **La luz es fundamental no sólo para ver, reconocer los objetos, superficies y espacios, orientarnos y recorrerlos, etc., mediante la información recibida a través del proceso visual.**
 - **También es fundamental para regular nuestros ritmos diarios, nuestras rutinas y de esta forma proporcionarnos salud y bienestar.**
 - **Antes de la aparición del alumbrado artificial tal como lo conocemos hoy en día, las horas de actividad de las personas estaban claramente relacionadas con el ambiente geofísico y las características del espectro de radiación visible.**
 - **Ahora, con todas las ventajas y desventajas que supone, el alumbrado artificial nos permite alargar nuestros periodos de actividad.**
-

- **Y ya que lo permite, se ha convertido en un elemento indispensable en la arquitectura y el urbanismo, hasta el grado de prescindir totalmente de la luz natural, en muchos casos.**

 - **Las normativas siempre se han regido básicamente por las mismas cuestiones: ¿cuánta luz requerimos para realizar qué actividad?. Incluso existen grandes listados de actividades y sus requerimientos lumínicos para ser desarrolladas.**

 - **En algún momento se sumaron otras características de la luz, así como las necesidades con respecto a la edad, agudeza visual, etc.**

 - **El espacio de trabajo y sus condiciones de ambiente lumínico interesan mucho, ya que el uso del alumbrado artificial habitual ejerce una influencia negativa sobre nuestro ritmo de actividad, al mantener siempre los mismos niveles y demás características.**

 - **Una hipótesis es que esa influencia puede verse reflejada en síntomas de agotamiento, estrés, alteraciones del sueño, etc., los cuales pueden deberse también a otro tipo de factores del mismo ambiente global, o de otra índole.**

 - **Relacionar altos niveles de luz con un buen diseño de iluminación no siempre es correcto, aunque nuestra actual cultura de la luz nos indique lo contrario.**
-

- **Quizás entonces no se trate sólo de elevar los niveles habituales para paliar los problemas antes descritos.**

 - **Variar la iluminación en interiores de oficinas es algo que ya se hace, pero con fines básicos de ahorro energético y cuestiones estéticas. Pero consideramos que debería normalizarse.**

 - **Algo debemos hacer para mejorar la situación, pues hoy más que nunca podemos hacerlo con los medios y conocimientos de que disponemos.**

 - **En el caso de oficinas se adoptan muy rápidamente los cambios tecnológicos de muchos campos con la finalidad de mejorar los ambientes de trabajo y la agilización en el manejo de información.**

 - **Sin embargo, queda pendiente la preocupación de la salud de los trabajadores, no sólo desde la perspectiva de su productividad, sino de una mejor calidad de vida.**
-

Resumiendo:

¿Por qué insistimos en aislar a los edificios de todo contacto exterior cambiante, sobretodo ahora que sabemos que abusamos del alumbrado artificial?

¿Por qué, si existe la tecnología para modular cambios en las características de la luz producida artificialmente, no se ve reflejado en las normativas y recomendaciones, a pesar de que no sólo se ahorraría energía, como se ha comprobado hasta ahora, sino porque el alumbrado estaría a favor de un mayor bienestar en las personas y un mejor desarrollo sostenible?

Parece que es la hora de actuar de forma más inteligente y consciente respecto a un avance tecnológico que ha revolucionado tanto nuestra vida de hace 121 años a la fecha.

1.5 REFERENCIAS

[1] Mehl de W., R. (1983)

Diseño ambiental. Parte 1. U. N. A. M. Facultad de Arquitectura - Autogobierno, 23 pp.

[2] Ibíd. p. 5

[3] Rybczynski, W. (1999)

La casa. Historia de una idea. Ed. Nerea. p. 219-234

[4] IESNA (2000)

The LIGHTING HAND BOOK. Reference and Application. *Illuminating Engineering Society of North America*. Cap. 3

[5] San Martín, R. y Murguía, L. (2001)

Ponencia: ARTIFICIAL LIGHTING AND ENVIRONMENT. A strategic approach to the XXIst Century. 9th European Lighting Conference LUX EUROPA. Reykjavik, Iceland.

[6] San Martín, R. y Ferrero, L. (2000)

Panel: Alumbrado Artificial. Calidad de vida y sostenibilidad. XXVI SIMPOSIUM NACIONAL DE ALUMBRADO. Ciudad Real.

[7] Murguía, L. y San Martín, R. (2002)

Efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano. *LUCES Revista Semestral del Comité Español de Iluminación*. Número 19: 31-39

[8] Serra, R. y Coch, H. (1995)

Arquitectura y energía natural. Edicions UPC. Capítulo 4.

[9] Lavie, P. (1997)

El fascinante mundo del sueño. Crítica. Grijalbo Mondadori. Barcelona. p. 191-192

[10] Ibíd. Cap. 13.

[11] Cardinali, D. P., Jordá C., J. J., Sánchez B. E. (1994)

Introducción a la cronobiología fisiología de los ritmos biológicos. Universidad de Cantabria. Caja Cantabria DL. Cap. I

[12] Lavie, P. (1997)

El fascinante mundo del sueño. Crítica. Grijalbo Mondadori. Barcelona. p. 38

[13] Ibíd. p. 62

[14] Levine, M. (1995)

Seasonal symptoms in the sub-Arctic. *Military Medicine*. 160 (3): 110-114

[15] Leary, W. (1996)

Los niveles normales de luz artificial trastornan el reloj biológico de las personas. Traducción de un artículo del New York Times, aparecido en EL PAÍS, 10 de febrero de 1996. p. 30

[16] °Akerstedt, T. (1995)

Work hours and sleepiness. *Neurophysiologie Clinique*. 25(6): 367-375

[17] Cardinali, D. P., Jordá C., J. J., Sánchez B. E. (1994)

Introducción a la cronobiología fisiología de los ritmos biológicos. Universidad de Cantabria. Caja Cantabria DL. p. 141-146

[18] Ibíd. p. 124**[19] Lavie, P. (1997)**

El fascinante mundo del sueño. Crítica. Grijalbo Mondadori. Barcelona. p. 195

[20] Lewy, A., Wehr, T., Goodwin, F., Newsome, D. Y Markey, S. (1980)

Light suppresses melatonin secretion in humans. *Science*. 210 (4475): 1267-1269.

[21] Duffy, J., Kronauer, R. E., y Czeisler, C. (1996)

Phase-shifting human circadian rhythms: Influence of sleep timing, social contact and light exposure. *Journal of Physiology*. 495(Pt 1): 289-297

[22] Wehr, T. (1998)

Effects of seasonal changes in day length on human neuroendocrine function. *Hormone research*. 49 (3-4): 118-124

[23] Cole, R., Kripke, D., Wisbey, J., Mason, W., Gruen, W., Hauri, P. y Juárez, S. (1995)

Seasonal variation in human illumination exposure at two different latitudes. *Journal of Biological Rhythms*. 10(4): 324-334

[24] Eastman, C. (1990)

Natural summer and winter sunlight exposure patterns in Seasonal Affective Disorder. *Physiology and Behavior*. 48: 611-616

[25] Hebert, M., Dumont, M. y Paquet, J. (1998)

Seasonal and diurnal patterns of human illumination under natural conditions. *Chronobiology International*. 15 (1): 59-70

[26] Eastman, C., Young, M. A., Fogg, L. F., Liu, L. y Meaden, P. (1998)

Bright light treatment of winter depression. A placebo-controlled trial. *Archives of General Psychiatry*. 55 (10): 883-889

[27] Lingjaerde, O., Foreland, A. R. y Dankertsen (1998)

Dawn stimulation vs. lightbox treatment in winter depression: a comparative study. *Acta Psychiatrica Scandinavica*. 98 (1): 73-80

[28] Boulos, Z. (1998)

Bright light treatment for jet lag and shift work. In R. W. Lam (Ed.) Seasonal affective disorder and beyond: Light treatment for SAD and non-SAD conditions. P. 253-297. Washington D. C. *American Psychiatric Press*.

[29] Redfern, P., Minors, D. Y Waterhouse, J. (1994)

Circadian rhythms, jet lag, and chronobiotics. An overview. *Chronobiology International*. 11(3): 253-265

[30] Samel, A. y Wegman, H. (1997)

Bright light: A countermeasure for jet lag?. *Chronobiology International*. 14 (2): 173-183

[31] Houpt, T. A., Boulos, Z. Y Moore Ede, M. C. (1996)

MidnightSun: Software for determining light exposure and phase-shifting schedules during global travel. *Physiology and Behavior*. 59 (3): 561-568

[32] Brainard, G. y Bernecker, C. (1991)

Biological and behavioral effects of light in humans. Paper presented at the CIE 22nd Session, Melbourne, CIE 91 –1991, 29-30/DIV6.

[33] Czeisler, C. A., Moore-Ede M. C. y Coleman, R. H. (1990)

Exposure to bright light and darkness to treat physiologic maladaptation to night work. *New England Journal of Medicine*, (322): 1.253-1.259

[34] Eastman, C. (1999)

How to use light and dark to produce circadian adaptation to night shift work. *Annals of Medicine*. 31 (2): 97-93

[35] Foret, J., Daurat, A. y Tirilly, G. (1998)

Effect of bright light at night on core temperature, subjective alertness and performance as a function of exposure time. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health*. 24(Suppl. 3): 115-120

[36] Boletín Not@s Prevención Integral (2001)

El trabajo nocturno incrementa entre un 50 y un 70 por ciento el riesgo de cáncer de mama. No. 8. www.PrevencciónIntegral.com

[37] Duffy, F. (1992)

The changing workplace. Phaidon Press Limited. London. 251 pp.

[38] Duffy, F. (1997)

The new office. Conran Octopus Limited. London. 256 pp.

[39] Duffy, F. (1992)

The changing workplace. Phaidon Press Limited. London. p. 97

[40] Collard, B. y DeHerde, A. (2001)

Technology Module 1 Office Building Typology. *Architecture et Climat. Mid-Career Education: Solar Energy in European Office Buildings*. <http://erg.ucd.ie/>

[41] IESNA (2000)

The LIGHTING HAND BOOK. Reference and Application. *Illuminating Engineering Society of North America*. p. 6-1

[42] Ibíd. p. 7-1**[43] Borg, N. Y Mills, E. (1998)**

Rethinking Light Levels. *IAEEL Newsletter*. 1998 Núm. 1. p. 4-7

[44] CIE (1986)

Informe Técnico "Guía de Iluminación Interior". *Comisión Internacional de Iluminación*. 2ª ed. Publicación nº 29.2. 142 pp.

[45] IESNA (2000)

The LIGHTING HAND BOOK. Reference and Application. *Illuminating Engineering Society of North America*. IESNA Lighting Design Guide. Interior-13

[46] B.O.E. (1997)

Guía Técnica para la evaluación y prevención de los riesgos relativos a la utilización de los Lugares de Trabajo. *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo*. Real Decreto 486 B.O.E. nº 97. p. 34-57.

[47] Comité Español de Iluminación, (1996)

Cuadernos de Eficiencia Energética en Iluminación. Vol. 4 "Sistemas eficientes de regulación y control en alumbrado de interiores". *Comité Español de Iluminación. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía*. 102 pp.

[48] Departament d'Indústria, Comerç i Turisme (1997)**[49] San Martín, R. Y Ferrero, L. (2000)**

Panel: Alumbrado Artificial. Calidad de vida y sostenibilidad. XXVI SIMPOSIUM NACIONAL DE ALUMBRADO. Ciudad Real.
