



2. ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCIÓN

En años recientes los efectos psicobiológicos de la luz se han convertido en uno de los campos de estudio de la iluminación. De acuerdo con **Küller [1]**, aunque los efectos no ópticos de la luz en los seres humanos se conocen desde hace tiempo, sólo durante los últimos veinte años dichas propiedades han llamado la atención de la sociedad luminotécnica.

El hecho de que la comunidad luminotécnica internacional haya dedicado parte de sus esfuerzos al estudio de los efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano, ha significado un paso muy grande para el desarrollo de estudios multidisciplinarios. La mayoría de estos trabajos apuntan hacia una nueva postura de las áreas involucradas en la creación del ambiente lumínico dentro de los espacios: la arquitectura y la ingeniería en iluminación.

Existen muchos temas sobre los cuales se puede investigar a partir de los postulados médicos que hemos visto con antelación. Consideramos que desde la perspectiva del arquitecto y el ingeniero en iluminación, las líneas más importantes a investigar son aquellas relacionadas con los ambientes de trabajo, ya que son los espacios donde las personas requieren un ambiente lumínico adecuado a sus actividades por periodos prolongados de tiempo, cuyas características les permitan no sólo realizar tareas visuales, sino que les proporcione un espacio agradable y sobretodo que puedan concentrarse en el trabajo y sentir bienestar en el tiempo que dure su jornada laboral.

Consideramos que las dos premisas sobre las que se ha de trabajar a fin de conseguir este objetivo son el estudio del rendimiento y la salud de las personas en el trabajo en función del ambiente lumínico. Más adelante veremos que no es una tarea fácil, debido a que el ambiente lumínico es sólo una parte del ambiente global que compone un espacio, junto con el ambiente acústico y térmico, sin embargo sí que se ha demostrado que es uno de los factores que más puede influir, tal vez porque el 85% de la información que recibe nuestro organismo entra a través de los ojos.

2.2 ESTUDIOS MULTIDISCIPLINARIOS

Brevemente diremos que aquellos componentes que pueden influir sobre la mejora del rendimiento en el trabajo son la atención y la rapidez con que se lleva a cabo una tarea; partiendo de aquellas curvas de actividad referidas en el **Apartado 1.2.5.3**, vemos que ambos componentes tienen un valor asociado, que puede ser medido de manera objetiva en el transcurso de la jornada de trabajo.

Y respecto a la salud de la persona podemos decir que un nivel subjetivo de cansancio y de concentración en función del ambiente lumínico puede arrojar datos acerca de qué tanto responde la luz a una necesidades naturales de transición, ya que recordemos nuestro organismo está en sincronización con un ambiente natural cambiante. Entre la salida y puesta de Sol hay una gran variación, cuya incidencia sobre nuestro ciclo diario de actividad es más que evidente.

Bajo estos parámetros expondremos a continuación, ordenadas cronológicamente, las principales conclusiones de aquellos trabajos relacionados con el tema, ya que consideramos nos proporcionaron puntos de partida para el desarrollo posterior de nuestro estudio.

Su análisis, nos permitirá comprender la implicación del alumbrado artificial en fenómenos de tipo biológico y fisiológico del ser humano que hemos descrito anteriormente.

2.2.1 (EUA) Czeisler et al.

Hemos incluido aquí una serie de aspectos del trabajo desarrollado por el grupo de investigación del Dr. Czeisler [2], pues aunque sus estudios han sido tratados en el apartado de Luz y salud, las conclusiones que expone están muy relacionadas con el diseño de iluminación, pues plantea que la prolongada exposición a la luz artificial es la posible causa de que mucha gente en países industrializados padezca una permanente sensación de desfase horario y falta de sueño.

Este grupo de trabajo se refiere a 'bajos' niveles de luz (alrededor de 180 lux) y en sus investigaciones se enfatiza sobre dos aspectos importantes, como son la utilización de los mismos niveles a lo largo del día y la prolongación de la actividad a las horas nocturnas.

La propuesta de los autores se inclina a promover un cambio a partir del diseño de alumbrado artificial que incorpore variaciones y a generar modificaciones en la actual cultura de la luz por parte de las personas, respecto a disminuir la exposición a la luz artificial en el horario nocturno.

En conclusión, la lectura que se hace de los resultados obtenidos por este equipo de investigación, es que los niveles 'bajos' de iluminación pueden servir como reguladores de los ritmos biológicos, siempre y cuando estén acompañados de variaciones diarias que indiquen el transcurso del día a las personas.

2.2.2 (EUA) Brainard y Bernecker

Estos dos autores [3] fueron de los primeros en presentar ante foros internacionales de luminotecnia los descubrimientos sobre los efectos no ópticos de la luz sobre el ser humano y sugerir que estos proveerían las bases para mayores cambios en el futuro de las estrategias de iluminación en arquitectura.

Dentro de sus principales aportaciones encontramos la propuesta de incorporar a los estudios la observación de efectos objetivos y subjetivos así como realizar observaciones nocturnas y diurnas. Asimismo, hacen hincapié en que las experiencias se lleven a cabo en el mismo sitio de trabajo o en espacios que reproduzcan las condiciones reales tanto del área, como de la iluminación (cuyos sistemas deberán ser flexibles).

Por otro lado también tocan el aspecto del ahorro de energía, que es un punto de controversia en la actualidad, sobre todo cuando se habla de incrementar los niveles de iluminación ($E \geq 2500$ lux).

Los autores sugieren que la polémica se genera básicamente por lo siguiente: el gasto energético por iluminación y su coste económico no debiera compararse con los costes del descenso de productividad, riesgos a la salud y el incremento de accidentes durante los turnos rotatorios. Por ello proponen desarrollar estrategias de iluminación con sistemas eficientes (lámparas de bajo consumo e iluminación puntual), a fin de reducir los costes económicos sin afectar los demás aspectos.

Finalmente queremos comentar que otros trabajos desarrollados por los autores hacen referencia a altos niveles de iluminación y se deduce que se refieren a su aplicación durante el trabajo nocturno.

2.2.3 (EUA) Abdou

En un estudio sobre las implicaciones del ambiente lumínico en la productividad de las personas, este autor [4] concluye que no obstante se ha demostrado que los niveles de iluminación influyen sobre el desempeño visual de las tareas, aún dista mucho de saberse qué tanto actúan sobre otros aspectos objetivos y subjetivos relacionados con la productividad.

Propone que dichas implicaciones necesitan ser investigadas, a pesar de que su cuantificación es complicada, ya que en la actualidad existen muy pocos trabajos que analicen la problemática a partir de una metodología que no sólo se fundamente en la aplicación de encuestas sobre la preferencia de los sujetos, sino en una base más sólida de experimentación.

Por lo tanto propone estudiar la manera de incorporar variaciones en las características de la luz en diseños arquitectónicos optimizando la salud de las personas, quienes según él hacen distinción entre:

- 1) Las condiciones de iluminación que afectan su satisfacción,
- 2) Aquéllas que ayudan o dificultan su trabajo y finalmente,
- 3) Las que afectan su estado mental y de salud.

Sus resultados indican que la mayor parte de la gente prefiere luz natural y la considera importante para su desempeño y bienestar general.

Opina también que se requiere estudiar las repercusiones económicas del ahorro energético y salud de las personas, al igual que los autores del punto anterior, pues sugiere que el coste por iluminar un espacio de trabajo de una manera eficiente representa el gasto energético más bajo de entre los demás costes directos e indirectos de éste.

2.2.4 (Italia - EUA) iGuzzini y Rea

Este grupo de trabajo multidisciplinario [5] –compuesto entre otros por la firma iGuzzini Illuminazione y el Lighting Research Centre del Rensselaer Polytechnic Institut de Troy, Nueva York–, realizó una investigación para probar el Sistema Sivra (Sistema de Iluminación Variable de Regulación Automática) fabricado por iGuzzini.

En las conclusiones finales, el Dr. Rea, uno de los coordinadores de la investigación, se refiere a que las características del sistema responden a las necesidades biológicas de los trabajadores nocturnos al permitir un amplio rango de variación tanto de la intensidad como de otros parámetros lumínicos.

El estudio se fundamenta en los hallazgos médicos sobre la influencia de altas intensidades lumínicas en la supresión de melatonina aplicadas durante la noche, para mejorar la capacidad de atención y por lo tanto el rendimiento de los trabajadores a turnos y nocturnos.

De entre las diferentes variaciones analizadas se encontró una mejor respuesta con una iluminación dinámica decreciente (2500 a 200 lux), ya que se perseguía el objetivo de evitar adormecimiento y reducción en el rendimiento de los trabajadores nocturnos en salas de control sin referencias ambientales externas.

Este trabajo representa uno de los estudios más completos que en materia luminotécnica ha tratado el tema de luz y salud. Incluso se tendrá la oportunidad de realizar una evaluación posterior a la instalación de sistema Sivra donde se realizaron las primeras pruebas, que los autores denominan *Post Occupancy Evaluation*, a fin de verificar si realmente se cumplieron los objetivos propuestos bajo condiciones de ocupación reales.

2.2.5 (Alemania) Universidad Técnica de Ilmenau

Una publicación de reciente aparición [6], promovida por las Asociaciones Profesionales Alemanas cuyo trasfondo es prevenir "los riesgos condicionados por el trabajo", trata el tema de Luz y salud a través de una recopilación sobre los efectos no ópticos de las irradiaciones, aportando además una extensa bibliografía de la cuestión.

A efectos del presente apartado, hemos retomado una serie de recomendaciones a las cuales se refieren en la publicación como Perspectivas de proyectos de investigación posibles, haciendo hincapié en que el objetivo fundamental debe ser la investigación de los efectos de la radiación óptica en la vida y la salud del ser humano.

Sugieren que: *"de las múltiples posibilidades de los puntos de investigación, hay algunas que deben ser abordadas de inmediato. Se han de registrar las investigaciones de larga duración ya realizadas y se han de incluir en la valoración. Se han de determinar los colores de la luz y el comportamiento espectral de las instalaciones de iluminación"*.

Y agrupan en un punto las que denominan Primeras propuestas:

1. Investigaciones sobre bajos niveles de alumbrado con intensidades de iluminación $E < 500 \text{ lx}$

Se deben determinar los niveles de iluminación bajos en centros de trabajo y en oficinas públicas e investigar estadísticamente, por edad y estado vital, a las personas que trabajen ahí o que estén ahí largo tiempo.

Aquí se incluyen:

- Edad
- Tipo de actividad
- Duración de la actividad
- Afecciones de todo tipo, estado actual de salud
- Valores de laboratorio (sangre, O₂-presión parcial, ergómetro, electroencefalograma, electrocardiograma, etc.)
- Bienestar
- Actividades de ocio

2. Investigaciones sobre niveles altos de alumbrado con intensidades de iluminación E > 1000 lx

Se han de detectar niveles de iluminación altos en los centros de trabajo y oficinas públicas y se han de investigar estadísticamente, por edad y estado vital, a las personas que trabajen ahí o que estén ahí largo tiempo.

Aquí se incluyen:

- Edad
- Tipo de actividad
- Duración de la actividad
- Afecciones de todo tipo, estado actual de salud
- Valores de laboratorio (sangre, O₂-presión parcial, ergómetro, electroencefalograma, electrocardiograma, etc.)
- Bienestar
- Actividades de ocio

3. Valoración comparativa de diferentes trabajos científicos de investigación

Se han de investigar las afecciones por déficit de luz conocidas, se han de valorar los resultados estadísticos. En este contexto se ha de incluir el ámbito de trabajo y de vivienda privada.

Se requiere una estrecha colaboración científica entre médicos y científicos de otras disciplinas.

4.Necesidad de investigación para nuevos centros de trabajo con intensidades altas de iluminación

Se han de realizar nuevos estudios médicos, biológicos y técnicos sobre centros de trabajo con intensidades de iluminación entre 1000 y 2000 lx.

Aquí se incluyen:

Edad

Tipo de actividad

Duración de la actividad

Afecciones de todo tipo, estado actual de salud

Valores de laboratorio (sangre, O₂-

presión parcial, ergómetro, electroencefalograma, electrocardiograma, etc.)

Bienestar

Actividades de ocio

5.Centros de trabajo con intensidades mayores de iluminación y regulación individual

Se han de crear centros de trabajo ($E_{\max} \geq 2000$ lx) y se han de llevar a cabo proyectos de investigación médicos y técnicos al respecto.

Un aspecto crucial debería ser la investigación de la influencia de las técnicas visuales de comunicación.

2.2.6 (Internacional) Informe Técnico de la CIE

La CIE (Comisión Internacional de Iluminación) por su parte, ha publicado también recientemente un informe técnico [7], resultado de la reunión de algunos Comités de la CIE [8] en la cual se acordó resumir el estado del arte, sugerir la dirección de investigaciones futuras y preparar las guías de consulta de los reportes finales de cada comité en lo relacionado a temas de luz y salud.

La publicación es una guía de gran utilidad agrupada por temas generales, (algunos de los cuales hemos tratado en la presente tesis), y su aportación principal es una compilación bibliográfica muy extensa dedicada a los temas sobre la influencia de la luz natural y artificial y las variaciones diurnas y estacionales sobre los humanos.

2.2.7 (Hungría) Majoros y Luxmate Controls

Finalmente describiremos las conclusiones de este trabajo [9], llevado a cabo en la Universidad de Budapest, y que fueron presentadas en la 9ª Conferencia Europea de Iluminación (cuyo tema principal fue Luz y salud).

De acuerdo con los resultados obtenidos en una serie de experiencias, el autor concluye que el dinamismo en los niveles de iluminación durante el trabajo diurno puede afectar la calidad del trabajo y los sentimientos subjetivos del efecto estimulante experimentado.

Una de las principales aportaciones del estudio es que fue elaborado siguiendo las últimas pautas y recomendaciones sobre las cuales se ha de trabajar para abordar el tema de la influencia del ambiente lumínico sobre los fenómenos no ópticos de las personas.

2.3 CONCLUSIONES

- **El interés de este capítulo radica en informar al lector sobre la situación actual de la cuestión, es decir acerca de los trabajos que se desarrollaron en fechas recientes, estudiando la problemática expuesta.**

 - **Debemos recordar que, gracias al estudio en el campo de la medicina (especialmente la cronobiología y estudio del sueño), ahora sabemos qué tan importante es la función que desempeñan los ciclos geofísicos y nuestra relación como seres humanos con el cambio diurno y estacional del ambiente lumínico.**

 - **También en este sentido podemos ver qué tan notable ha sido la reciente irrupción del alumbrado artificial en esta relación, y los descubrimientos sobre la influencia que ejerce en los seres humanos en el ámbito fisiológico, biológico, psicológico, etc.**

 - **Son precisamente estos factores los que, por un lado han sido estudiados y por otro se insta a que se estudien, en los trabajos anteriormente expuestos. Siempre tomando en consideración la necesidad de formar equipos multidisciplinarios de investigación.**
-

- **En el ámbito de la Luminotecnia, logramos darnos cuenta de la importancia de generar unas condiciones variables al interior de los espacios, especialmente los de trabajo –en este caso, oficinas–, pues allí la gente pasa gran parte del día, durante la cual su curva de actividad depende entre otras cosas, del ambiente lumínico.**

- **La arquitectura como moderador de un ambiente lumínico interior, que en algunos casos es permeable al paso de luz natural y en ocasiones se cierra completamente a ella, tiene un papel fundamental.**

- **Consideramos necesario que continúe la investigación multidisciplinaria respecto a la respuesta de las personas a un ambiente lumínico variable en ambientes de trabajo.**

Finalmente cabe decir que a partir de los estudios descritos en el apartado 2.2, hemos diseñado una metodología de experimentación propia, cuya finalidad es contribuir con el estudio de la variabilidad del alumbrado artificial en un espacio dado, observando su influencia sobre la actividad de unos participantes. Todo ello bajo unas condiciones ambientales controladas.

2.4 REFERENCIAS

[1] Küller, R. (1981)

Non-visual effects of light and colour. Annotated bibliography (Document 15). Stockholm: Swedish Council for Building Research.

[2] Boivin, D. B., Duffy, J. F. y Kronauer R. E., Czeisler, C. A. (1996)

Dose-reponse relationship for resetting of human circadian clock by light. *Nature-London*. 379 (6565): 540-542.

[3] Brainard, G. C. y Bernecker, C. A. (1996)

The effect of light on human physiology and behaviour. *23th Session of the International Commission on Illumination (CIE)*. 2: 88-100.

[4] Abdou, O. (1997)

Effects of luminous environment on worker productivity in building spaces. *Journal of Architectural Engineering* [H.W. Wilson-AST] (3): 124-132.

[5] Rea, M. e iGuzzini Illuminazione (1996)

Sistema Sivra de iGuzzini Illuminazione. Experimentos con este sistema, llevados a cabo en el Lighting Research Centre del Rensselaer Polytechnic Institute, Consultar Catálogo del Sistema Sivra.

[6] Universidad Técnica Ilmenau (2000)

Luz y salud. Vivir con radiaciones ópticas. *BG Asociación Profesional del Metal y de la Construcción de Maquinaria*. 94 pp.

[7] CIE (2001)

Technical Report. The influence of daylight and artificial light on diurnal and seasonal variations in humans. A bibliography.

[8] Comités de la CIE responsables del reporte técnico anterior.

TC3-16, Psychological aspects of lighting

TC6-11, Systemic effects of optical radiation on humans

TC6-16, Psychobiological effects of lighting

TC6-17, Spatial and temporal variability of radiation exposure and human behaviour

[9] Majoros, A. (2001)

Effects of dynamic lighting. 9th European Lighting Conference LUX EUROPA, Reykjavík, Iceland, pág. 215
