



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR DE  
ARQUITECTURA

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

---

# **ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE LA ILUMINACIÓN EN LA PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES UNIVERSITARIOS**

**LAURA ARBONA HIDALGO**

TUTORA: NURIA CASTILLA CABANES  
COTUTORA: MARÍA DEL CARMEN LLINARES MILLÁN  
GRADO EN FUNDAMENTOS DE LA ARQUITECTURA  
DEPARTAMENTO DE CONSTRUCCIONES ARQUITECTÓNICAS  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA | 2019-2020



## RESUMEN

---

El objetivo de este trabajo es la documentación, recopilación y síntesis de los trabajos más importantes publicados sobre la influencia de la iluminación en la percepción de los estudiantes en los espacios docentes. La idea es que, gracias a esta revisión, se proporcione una visión global de las publicaciones sobre este tema. Esta visión puede ayudar a mejorar las condiciones lumínicas de dichos espacios y crear un mayor bienestar en ellos.

En el actual trabajo se realiza una revisión de 13 estudios (de 2011 a 2020) en los que se utilizan distintas condiciones de iluminación en diferentes ambientes para así analizar los efectos visuales, psicológicos, biológicos y fisiológicos que generan en los participantes. En concreto, se analizan ensayos donde se experimenta con variaciones de la iluminancia y la temperatura de color para así medir los procesos cognitivos en relación con el aprendizaje, la atención, la memoria, el estado de alerta, etc. También se tiene en consideración el lugar donde se lleva a cabo el experimento: en un laboratorio, en estudio de campo o mediante la realidad virtual.

Se constata que existe una gran divergencia en cuanto a los resultados que se obtienen en los diferentes estudios, puesto que existen muchas variables y distintos parámetros a medir. En algunos de ellos se verifica la mejora del rendimiento de los estudiantes con mayores niveles de iluminancia y temperatura de color, en cambio, en otros no se han podido anotar resultados concluyentes o incluso se ha llegado a obtener efectos contradictorios. Esto hace que sea necesaria una mayor investigación en este tema.

En esta revisión se puede contemplar la importancia de estos estudios para el diseño de una iluminación adecuada y personalizada dependiendo del lugar donde se lleve a cabo.

**PALABRAS CLAVE:** Rendimiento, aprendizaje, iluminancia, temperatura de color, melatonina.

## RESUM

---

L'objectiu d'aquest treball és la documentació, recopilació i síntesi dels treballs més importants publicats sobre la influència de la il·luminació en la percepció dels estudiants en els espais docents. La idea és que, gràcies a aquesta revisió, es proporcione una visió global de les publicacions sobre aquest tema. Aquesta visió pot ajudar a millorar les condicions lumíniques d'aquests espais i crear un major benestar en ells.

En l'actual treball es realitza una revisió de 13 estudis (de 2011 a 2020) en què s'utilitzen diferents condicions d'il·luminació en diferents ambients per així analitzar els efectes visuals, psicològics, biològics i fisiològics que generen en els participants. En concret, s'analitzen assajos on s'experimenta amb variacions de la il·luminància i la temperatura de color per així mesurar els processos cognitius en relació amb l'aprenentatge, l'atenció, la memòria, l'estat d'alerta, etc. També es té en consideració el lloc on es porta a terme l'experiment: en un laboratori, en estudi de camp o mitjançant la realitat virtual.

Es constata que hi ha una gran divergència pel que fa als resultats que s'obtenen en els diferents estudis, ja que hi ha moltes variables i diferents paràmetres a mesurar. En alguns d'ells es verifica la millora de l'rendiment dels estudiants amb majors nivells de lluminositat i temperatura de color, en canvi, en altres no s'han pogut anotar resultats concloents o fins i tot s'ha arribat a obtenir efectes contradictoris. Això fa que siga necessària una major investigació en aquest tema.

En aquesta revisió es pot contemplar la importància d'aquests estudis per al disseny d'una il·luminació adequada i personalitzada depenent del lloc on es dugui a terme.

**PARAULES CLAU:** Rendiment, aprenentatge, il·luminància, temperatura de color, melatonina.

## ABSTRACT

---

The aim of this work is the documentation, compilation and synthesis of the most important works published on the influence of lighting on the perception of students in teaching spaces. The idea is that, thanks to this review, an overview of the publications on this topic will be provided. This vision can help to improve the lighting conditions of such spaces and create a greater well-being in them.

In the current work is a review of 13 studies (from 2011 to 2020) in which different lighting conditions are used in different environments to analyze the visual, psychological, biological and physiological effects they generate in participants. Specifically, we analyze trials where we experiment with variations in illuminance and color temperature to measure cognitive processes in relation to learning, attention, memory, alertness, etc. The place where the experiment is carried out is also taken into consideration: in a laboratory, in a field study or by means of virtual reality.

It is noted that there is a great divergence in the results obtained in the different studies, since there are many variables and different parameters to measure. In some of them it is verified the improvement of the students' performance with higher levels of illuminance and color temperature, on the other hand, in others it has not been possible to note conclusive results or even to obtain contradictory effects. This makes further research necessary in this area.

In this review we can contemplate the importance of these studies for the design of an adequate and personalized lighting depending on the place where it is carried out.

**KEY WORDS:** Performance, learning, illuminance, color temperature, melatonin.

## CONTENIDO

---

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>6</b>
1.1. ANTECEDENTES.....	6
1.2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO.....	7
<b>CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....</b>	<b>8</b>
2.1. PRINCIPIOS GENERALES DE LA PERCEPCIÓN.....	8
2.1.1. Fisiología del ojo.....	8
2.1.2. Psicología de la percepción: Leyes de la Gestalt.....	9
2.1.3. Objetos de percepción.....	11
2.2. PARÁMETROS BÁSICOS DE LA ILUMINACIÓN.....	11
2.2.1. Magnitudes fotométricas.....	11
2.2.2. Conceptos básicos.....	12
2.3. LA ILUMINACIÓN NATURAL.....	14
2.4. LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL.....	15
2.4.1. Tipos de lámparas.....	15
2.4.2. Sistemas de iluminación artificial.....	18
2.5. LA INFLUENCIA DE LA LUZ EN EL SER HUMANO.....	19
2.5.1. Mecanismos visuales.....	20
2.5.2. Mecanismos no visuales.....	21
2.6. LA ILUMINACIÓN, EL APRENDIZAJE Y EL ENTORNO DOCENTE.....	22
2.7. LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LOS ESPACIOS DOCENTES.....	23
2.8. LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LOS ESPACIOS DOCENTES.....	24
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS SOBRE LA PERCEPCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN ESPACIOS DOCENTES.....</b>	<b>25</b>
3.1. ESTÍMULOS LUMÍNICOS EMPLEADOS.....	25
3.1.1. La iluminancia.....	25
3.1.2. La Temperatura de color correlacionada.....	30
3.2. PARÁMETROS A MEDIR.....	34
3.3. LA MUESTRA.....	39
3.4. MÉTODOS PARA RECOGER LA RESPUESTA DEL SUJETO.....	43
3.4.1. Espacio de desarrollo de las investigaciones.....	43
3.4.2. Respuestas medidas en el estudio.....	46

3.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	50
<b>CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES.....</b>	<b>52</b>
4.1. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN.....	52
4.2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS.....	53
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>57</b>
ANEXO 1: ÍNDICE DE FIGURAS.....	57
ANEXO 2: ÍNDICE DE TABLAS.....	57

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. ANTECEDENTES

A medida que el mundo se ha ido desarrollando, los seres humanos pasan cada vez más tiempo en espacios interiores. Aun así, es muy importante poner en valor la iluminación natural por sus numerosos beneficios en la salud y bienestar de los seres humanos. Es fundamental saber combinarla y complementarla con la iluminación artificial para cubrir sus carencias en determinados momentos y así ser lo más eficiente posible.

Además, en la vida de las personas, la luz es indispensable para ver con detalle. Sin embargo, la percepción visual se puede ver alterada por distintos tipos de iluminación y afectar al rendimiento del trabajo. Por esta razón, el objetivo de la iluminación es facilitar el trabajo de los individuos (Park et al., 2013).

En cuanto a los espacios docentes, la iluminación natural y artificial juega un papel importante puesto que es el lugar de aprendizaje de los estudiantes. Asimismo, para diseñar aulas y espacios docentes en general, ya no solo se tiene en cuenta conseguir una mayor eficiencia energética y económica, sino que también se ha puesto en valor el diseño de la iluminación para mejorar el bienestar, el confort y el rendimiento del alumnado y el profesorado.

Pero, antes de crear las condiciones de iluminación más adecuadas para un aula, se tiene que realizar primero un análisis del ambiente lumínico (la combinación de luz natural y artificial) y espacial de la habitación. Si esto no se realiza adecuadamente, pueden aparecer problemas de deslumbramiento e incomodidad ya sea por una mala orientación, por un tamaño desproporcionado de ventanas o un mal ajuste de la iluminación artificial. Por tanto, existen casos donde se debe prescindir de la iluminación natural para evitar problemas.

La iluminación artificial es necesaria en los espacios docentes, pero no siempre se configura adecuadamente, por eso, la norma UNE EN 12464 establece los valores mínimos para la iluminación de un aula. Sin embargo, hoy en día, las nuevas tecnologías y los nuevos métodos de aprendizaje están cambiando la Educación Superior. Estas nuevas tareas que no se han tenido en cuenta en esta normativa por lo que cada vez es más necesario más investigación en este tema.

Por este motivo, se debe estudiar el efecto que provoca la iluminación en los estudiantes y las variables que puedan influir, porque el rendimiento de los estudiantes está relacionado con el efecto que provoca la luz en su bienestar. De esta manera, si cuando se vaya a realizar una tarea existe un confort visual, mejorará significativamente la productividad de trabajo, sobre todo, en la realización de tareas con mayor complejidad (Ballina, 2016).

Sin embargo, no se puede utilizar el mismo tipo de iluminación para realizar distintas tareas, ya que cada una de ellas necesita unas condiciones de iluminación específicas. Por eso, las investigaciones de los estudios sobre los efectos de la iluminación en el rendimiento de los estudiantes son necesarias tanto para mejorar el ambiente de las aulas como para poder utilizar una iluminación adecuada a cada tarea.

## **1.2. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO**

Este trabajo se trata de la documentación, recopilación y síntesis de los trabajos más importantes publicados sobre la influencia de la iluminación en la percepción de los estudiantes en los espacios docentes. Para ello, ha sido necesario realizar antes un marco teórico para después poder efectuar un análisis más exhaustivo. Por último, una vez realizado el análisis de los estudios, se exponen las conclusiones obtenidas. A continuación, se procede a explicar los apartados del trabajo.

En el primer capítulo, como ya se ha comentado, se describen los antecedentes, es decir una breve introducción de como influye la luz en el ser humano, su importancia en los espacios docentes y en el aprendizaje de los estudiantes.

En el segundo capítulo, el marco teórico, se definen los aspectos más importantes de la iluminación. En primer lugar, se explican los parámetros más generales como los principios de la percepción y los parámetros básicos de la iluminación para entender mejor como el ser humano percibe la iluminación y las magnitudes que se pueden medir. También se describe en qué consiste la iluminación natural y artificial y cómo influye en el ser humano. Para acabar con este capítulo se comenta la relación que existe entre los espacios docentes, la iluminación natural y artificial y el aprendizaje.

En el tercer capítulo se expone la revisión de 13 estudios seleccionados. Son estudios realizados entre 2011 y 2020 que se centran en investigar los efectos psicológicos, fisiológicos y biológicos de la iluminancia y la temperatura de color correlacionada en los seres humanos. Se han elegido estos dos parámetros porque son dos de los parámetros más importantes de la iluminación y que más influyen en la apariencia de un espacio.

En este capítulo primero se revisan los artículos por separado según los estímulos lumínicos empleados. Después, se examinan los parámetros que se han medido en los estudios, como son los procesos cognitivos relacionados con el aprendizaje. En el apartado siguiente se describe la muestra empleada en cada estudio y el criterio para elegirlos. Para terminar, se detallan los métodos para recoger las respuestas de los participantes, primero dónde se ha realizado (en el laboratorio o en el espacio físico real) y luego la respuesta de los sujetos (autoevaluación o fisiológica).

En el cuarto capítulo se exponen las conclusiones obtenidas después de analizar los estudios de cómo influye la iluminación en los procesos cognitivos. Por último, se plantean las líneas de investigación futuras.

Para terminar, se recoge la bibliografía empleada para desarrollar el trabajo y se adjuntan los anexos de las figuras utilizadas.

## CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

---

### 2.1. PRINCIPIOS GENERALES DE LA PERCEPCIÓN

El ojo es el órgano principal por el que los seres humanos perciben la información de su entorno. Por lo tanto, la luz es fundamental para la visión y según su intensidad, distribución o características crea unas condiciones lumínicas que influyen en la percepción. El objetivo de la iluminación es crear condiciones de percepción que faciliten el trabajo al hombre. Las características físicas de la iluminación son aquella que se pueden medir con exactitud, en cambio, existe la percepción subjetiva que es como realmente el ser humano capta la luz.

Seguidamente, se anuncian los principios generales de la percepción, que son:

- Fisiología del ojo
- Leyes de la Gestalt
- Objetos de percepción

#### 2.1.1. FISIOLOGÍA DEL OJO

El ojo humano en la interpretación de la percepción se compara con el funcionamiento de una cámara. La cámara por medio de un sistema de lentes invierte la imagen de un objeto, la proyecta sobre una película y el diafragma controla la cantidad de luz. Una vez se revela y se revierte, al ampliar, se consigue la imagen en dos dimensiones del objeto. En el caso del ojo, la imagen invertida se proyecta en el fondo ocular por medio de una lente deformable. El iris funciona como el diafragma y la retina como la película. La imagen llega al cerebro mediante el nervio óptico que está conectado con la retina. Una vez allí, vuelve a su posición inicial. Todos los efectos que se forman en la retina como la deformación de la imagen y la aberración cromática, una vez llega al cerebro desaparecen siendo esta la percepción real de la imagen (ERCO, 2012).

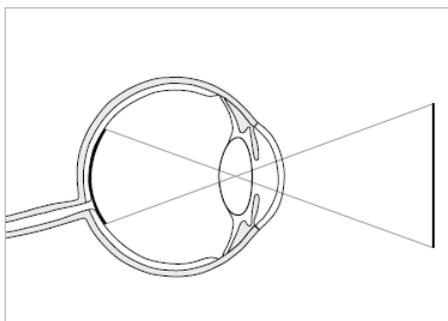


Figura 1. Aberraciones esféricas. Fuente: (Erco).

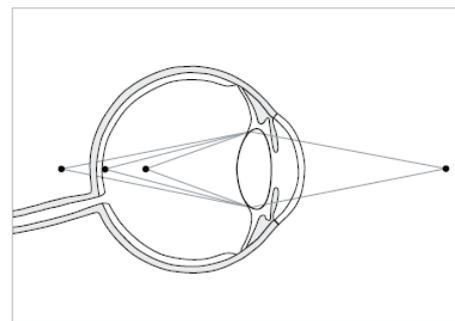


Figura 2. Aberraciones cromáticas. Fuente: (Erco).

En la retina se forman imágenes deformadas en perspectiva cuando un objeto no se observa de manera frontal. Aunque esto ocurra, la percepción del observador sobre la forma del objeto es la misma, aunque se mueva.

En el ojo humano también podemos encontrar los conos y los bastones. Son células fotorreceptoras que se encuentran en la retina del ojo y reaccionan cuando incide luz sobre ellas, creando una reacción química. El producto químico resultante (rodopsina activada) conecta los fotorreceptores y la parte posterior del cerebro (corteza visual) mediante impulsos nerviosos.

Existen dos tipos de fotorreceptores: los conos y los bastones. Los conos constituyen un sistema que establece la visión durante el día, es decir, con altas intensidades luminosas (visión fotópica). Estos tienen una baja sensibilidad luminosa, permiten ver el color además de con gran nitidez y precisión. Por el contrario, los bastones son sistemas que funcionan con bajos niveles de iluminación (visión escotópica). Cuenta con una elevada sensibilidad luminosa que permite la visión nocturna y a su vez imposibilita la visión del color (ERCO, 2012).

La variación de la sensibilidad de los conos y los bastones depende de cómo varía la longitud de onda de la luz y el color de esta. En la figura 3, se distinguen la curva espectral de sensibilidad para los conos ( $V_\lambda$ ), y para el sistema de bastones ( $V'_\lambda$ ) (Van Bommel y van den Beld, 2004).

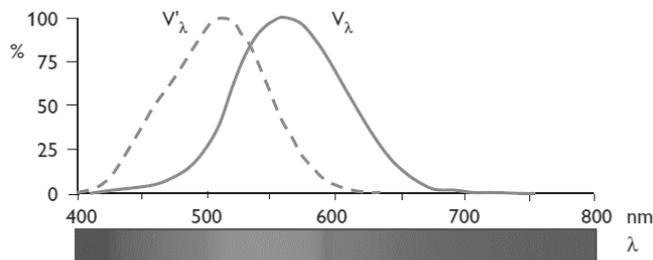


Figura 3. Curvas de sensibilidad espectral de los ojos.  $V_\lambda$  para el sistema de conos y  $V'_\lambda$  para el sistema de bastones. Fuente: (Philips).

## 2.1.2. PSICOLOGÍA DE LA PERCEPCIÓN: LEYES DE LA GESTALT

A principios del siglo XX nació en Alemania el movimiento Gestalt con Wertheimer, Koffka y Köhler como investigadores (Oviedo, 2004). En este movimiento defendían que la percepción era el principal proceso de la actividad mental y el resto de las actividades como el aprendizaje, el pensamiento, la memoria, etc., necesitaban del buen funcionamiento de la percepción. Según la Gestalt, la percepción permitió que la información tomada del entorno pudiera ser juzgada y categorizada, demostrando que no se trata de un proceso causal.

La Gestalt se encargó de definir el objeto de una manera más rápida y directa además de determinar una composición y naturaleza con claridad. El interés de este movimiento por exponer la relación entre la percepción y conceptualización, formaron las siguientes leyes de la percepción:

### **Figura y fondo**

La figura es el elemento principal de la imagen, capta la atención del observador ya que contrasta con el fondo y se observa con mayor nitidez y definición. En cambio, el fondo aparece con una menor definición y en un segundo plano.

El sujeto necesita de un determinado contraste para poder identificar una figura y poder sustraer información de ella, por el contrario, el fondo queda homogéneo aportando información invariable.

*“Todo objeto sensible existe en relación con un cierto fondo; esta expresión no solo se ajusta a las cosas visibles, sino también a toda clase de objeto sensible; un sonido se destaca sobre un fondo constituido por otros ruidos o sobre un fondo de silencio”* (Guillaume, 1964, p. 69).

El contorno de la figura contribuye a aportarle relieve, textura y tamaño, además de diferenciar entre interior y exterior. En cambio, el fondo no tiene contornos por lo que es indefinido y homogéneo. Aunque existan diferencias entre ellos, a su vez están relacionados entre sí pues el objeto que se identifica como figura puede pasar a ser el fondo y viceversa.

### **Agrupamiento o proximidad**

Este principio trata de la unión de la información del entorno, es decir, todo aquello que se encuentre cercano se percibe como un conjunto. Según la distancia que haya entre los elementos de una imagen, el observador los procesa de distinta manera. No hay una unión física entre los objetos, cada uno es ajeno tanto al más próximo como al más lejano.



Figura 4. Imagen de dos grupos de tres piezas. Fuente: (Hothersall, 1997, p. 220).

### **Ley de cierre**

Aquellos elementos donde su contorno está incompleto, la percepción del ser humano tiende a cerrarlos. Aunque estas figuras no estén completas, se ven con claridad. Este tipo de elementos se recuerdan mejor, ya que el cerebro tiene que esforzarse en completarlos. Esto es porque al no hacerlo crea tensión e incomodidad en el usuario.

### **Ley de semejanza**

Se define como la tendencia a reunir en grupos aquellos elementos idénticos y distinguirlos del resto. La información se ordena según la similitud que los estímulos mantienen entre sí.

*“Otro de los criterios empleados por el aparato perceptual para la construcción de representaciones psíquicas es la búsqueda de la homogeneidad. En este orden de ideas, aquella información que tienda a repetirse con mayor frecuencia es predominantemente atendida y captada, por encima de aquella que es difusa y muy poco frecuente.”* (Oviedo, 2004).

X	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O
X	O	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X
X	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O
X	O	X	O	X	O	X	X	X	X	X	X
X	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O

Figura 5. Formación de columnas (izquierda) o filas (derecha) según la semejanza de las figuras. Fuente: (Hothersall, 1997, p. 220).

### 2.1.3. OBJETOS DE PERCEPCIÓN

Cada objeto de un entorno se percibe de manera distinta, por la preferencia de la fovea de ciertos elementos y la visión de pequeños detalles. Esto ocurre porque el cerebro no puede procesar toda la información del campo visual de una.

La actividad del usuario es uno de los campos de la percepción de objetos. Se puede definir como actividad un trabajo específico, un movimiento o aquella tarea que requiera de información visual. Según las singularidades de la actividad serán necesarias unas condiciones de iluminación específicas que ayuden a la realización del trabajo visual.

Otra necesidad para la percepción visual es la información del entorno, para crear seguridad en el hombre. Esto depende de varios factores como el tiempo, la orientación, el momento del día y el ambiente del lugar.

## 2.2. PARÁMETROS BÁSICOS DE LA ILUMINACIÓN

### 2.2.1. MAGNITUDES FOTOMÉTRICAS

#### 1. Flujo luminoso (F)

El flujo luminoso se define como el total de luz emitida o radiada en un segundo a través de una fuente.

Símbolo:  $\phi$ ; F | Unidad: Lumen (lm)

#### 2. Intensidad luminosa (J; I<sub>v</sub>)

La intensidad luminosa es el total de luz emitida o radiada por cada rayo de la fuente en cierta dirección. En otras palabras, es el flujo luminoso para cada ángulo sólido ( $\omega$ ). El ángulo sólido se mide en una esfera, la superficie para un radio de 1 metro, un casquete que equivale a un área de 1 m<sup>2</sup>.

Símbolo: J; I<sub>v</sub> | Unidad: Candela (Cd) | Fórmula:  $J = \phi/\omega$

### 3. Iluminancia (E)

La iluminancia o nivel de iluminación es la cuantía de flujo luminoso que recae sobre una superficie. Cuanto más alejada se encuentre la fuente de luz de la superficie, menor será la iluminancia.

Símbolo: E | Unidad: lux = lm/m<sup>2</sup> | Fórmula:  $E = \phi/S$

### 4. Luminancia (L)

La luminancia es el resultado de lo que provoca la luminosidad de un objeto sobre la retina del ojo. Puede provenir del efecto directo que tiene una fuente de luz sobre una superficie (fuente primaria) o por el reflejo que provoca esa superficie (fuente secundaria). En otras palabras, es la iluminancia por unidad de superficie aparente. La luminancia es como se percibe la luz, ya que el observador verá la superficie proyectada desde la posición en que se encuentre.

La superficie aparente es el resultado de multiplicar la superficie real por el coseno del ángulo entre la normal del punto de vista del observador y el sentido de la intensidad luminosa.

Símbolo: L | Unidad: cd/m<sup>2</sup> | Fórmula:  $L = J/S_{\text{aparente}}$

## 2.2.2. CONCEPTOS BÁSICOS

### 1. Distribución de Energía Espectral (SPD)

La Distribución de Energía Espectral (Spectral Power Distribution) es la distribución de las longitudes de onda visibles de la energía emitida por una fuente de luz en cada uno de sus colores. Cada tipo de fuente tiene una curva espectral con la intensidad de cada color que la caracteriza. Por ejemplo, la luz solar se caracteriza por tener un espectro continuo.

Se llama espectro visible a la zona del espectro electromagnético que se puede observar por el ojo humano. También es conocido como luz visible o luz. Las longitudes de onda del espectro visible que el ojo humano puede percibir están comprendidas entre 380 y 750 nm. Esto no se puede calcular de manera exacta, pues depende del ojo de cada persona (CATEDU, n.d.).

Espectro visible	
Color	L. de onda
Violeta	380-450 nm
Azul	450-475 nm
Cian	476-495 nm
Verde	495-570 nm
Amarillo	570-590 nm
Naranja	590-620 nm
Rojo	620-750 nm

Figura 6. Espectro visible por el ojo humano. Fuente: Elaboración propia en base a datos de e-educativa.catedu.es

Como ya se ha comentado antes, cada tipo de luz tiene una curva espectral distinta. Por ejemplo, la curva de las lámparas LED presenta picos en la zona donde se emite el color azul, en cambio para el resto de las tonalidades la curva espectral menor y es más uniforme, sin picos. También hay que tener en cuenta la temperatura de color porque dependiendo de esta, podrá variar la curva espectral de los LED (*La luz - DEP-SPD y Eficacia luminosa | Entre Cielo y Tierra, n.d.*).

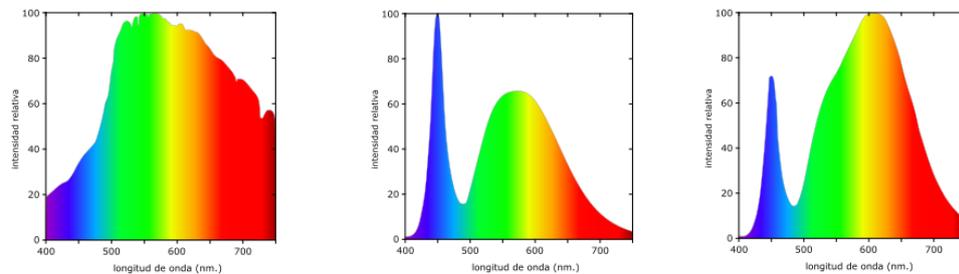


Figura 7. Curva espectral del sol, LED frío y LED cálido. Fuente: (Entrecieloytierra).

## 2. Índice de Reproducción Cromática (IRC)

El índice de reproducción cromática se encarga de medir la capacidad que tiene una fuente de mostrar un objeto con sus colores reales teniendo como referencia la luz natural. El IRC de la luz natural es el máximo, 100, y el índice de reproducción cromática de una fuente de luz se mide de 0 a 100.

Para medir el IRC cuando la temperatura de color es inferior a 5000 K se toma un cuerpo negro, en cambio para temperaturas de color superiores se utiliza luz diurna como referencia. Cuando se mide el IRC de una fuente luminosa únicamente se tiene en cuenta el color, no se considera la distribución espectral.

Este parámetro permite saber la calidad de la lámpara para poder equipararla con otras. Para iluminar los espacios se buscan fuentes de luz con un IRC igual o superior a 80, aunque si se trata de un espacio específico que busca reproducir el color de la manera más exacta posible, utilizarán lámparas con un IRC mayor de 90 (Efecto LED, 2017).

## 3. Temperatura de color correlacionada (TCC)

La temperatura color es uno de los parámetros principales de la iluminación. Es la comparación del color de la distribución espectral de la fuente de luz con la que emite un cuerpo negro calentado a una determinada temperatura. Su unidad son los grados Kelvin.

La temperatura de color correlacionada nos indica el color de la fuente de luz que más se aproxima a la cromaticidad de un cuerpo negro, por ello, existe una escala para medir la temperatura de color de la fuente. Según la UNE 12464:12 (AENOR, 2012) las fuentes con un valor inferior a 3300 K se llaman luces cálidas, es decir, colores amarillo-naranja. Las que se encuentran en un rango entre 3300 K y 5300 K son luces intermedias con un color blanco, ya que las que están por encima de los 5300 K se denominan luces frías con un color blanco azulado. Actualmente las lámparas no suelen superar los 6500 K, ni tampoco tienen valores inferiores a 2700 K.

Si se compara con la luz natural puede llegar a comprender valores entre 3800 y 40000 K. Este rango tan amplio es por las distintas condiciones ambientales que pueden presentarse o el momento del día en que se encuentre. (J M Monteoliva et al., 2015)

#### **4. Deslumbramiento**

El deslumbramiento aparece cuando la luminancia de un elemento es bastante más elevada que la del espacio en el que se encuentra, produciendo molestias de visión en el observador.

Según las consecuencias que puede causar el deslumbramiento, puede ser molesto o incapacitante. La molestia viene por la fatiga visual que produce la elevada intensidad de la fuente de luz. En cambio, el deslumbramiento puede ser incapacitante cuando produce ceguera, una visión con poca nitidez y contraste.

En cuanto al origen del deslumbramiento, puede ser directo o indirecto. El origen directo es cuando se mira directamente a la fuente de luz y el indirecto es cuando se observa el reflejo de una superficie sobre la que incide la luz.

El efecto del deslumbramiento se debe evitar para el diseño de los espacios interiores. Se puede evitar de muchas maneras como no utilizar superficies con acabados en brillo ya sea en paredes o en mobiliario, utilizar pantallas para no observar directamente la fuente de luz, evitar grandes diferencias de luminancia entre la luz ambiente y la de tarea, etc.

### **2.3. LA ILUMINACIÓN NATURAL**

El sol es la principal fuente de energía que incide sobre la tierra. La radiación electromagnética que emite funciona como una onda y como un fotón. La constante solar es un valor fijo de energía que se extiende en la parte exterior de la atmósfera, con un valor de 1367 W/m<sup>2</sup> que es lo mismo que 2 cal/min/cm<sup>2</sup> (IDAE y CEI, 2005).

La luz natural es la energía electromagnética que abarca todo el espectro visible, su longitud de onda empieza por el rojo y acaba por el violeta. Además, proporciona una reproducción cromática perfecta, aunque existen cambios de intensidad, de ángulo de incidencia y de luminancias.

En la superficie de la tierra llegan tres cuartas partes de la energía que proviene del sol en un día claro y a una hora determinada donde los rayos incidan de manera perpendicular. Por otra parte, la atmósfera absorbe en mayor medida tanto la radiación ultravioleta como la infrarroja.

La luz natural se ve afectada por los cambios climáticos y el aire del entorno que producen variaciones en la intensidad y la cantidad de horas de luz natural. Según la hora del día, la estación del año, la latitud, etc., la luz natural tendrá unas características específicas para cada situación.

La luz natural está formada por: el haz directo que emite el sol, la luz ambiente que queda repartida por la atmósfera y el reflejo de la luz del sol sobre las superficies tanto en objetos como en paramentos verticales y horizontales.

Como existen numerosas variantes, los estudios realizados en la Unión Europea han recogido como mínimo 30 escenarios con distintas características que definen la iluminación natural de la Unión Europea.

Según la Guía Técnica de Aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de los edificios elaborada por el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), es importante conocer las siguientes características de la luz natural (IDAE y CEI, 2005):

- *Los diferentes tipos de distribución de luminancias en el cielo: Distribución de cielo de luminancia uniforme; Distribución de cielo estándar cubierto con nubes de la CIE; y Distribución de cielo claro y azul.*
- *El factor medio de luz natural, que permite evaluar la apariencia total de una sala iluminada con luz natural en condiciones de cielo cubierto con nubes.*
- *La distribución de dicha luz natural en el interior de una sala mediante cálculo, para saber si la sala tiene una superficie demasiado grande y pueden aparecer en su interior zonas no iluminadas suficientemente.*

Para utilizar la luz natural como iluminación de espacios interiores, se debe tener en cuenta su variabilidad a lo largo del día. Por lo tanto, es necesario complementar la iluminación natural en espacios interiores con iluminación artificial para conservar los niveles de luminancia recomendados para dicho espacio.

## **2.4. LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL**

### **2.4.1. TIPOS DE LÁMPARAS**

Las lámparas son las encargadas de emitir la luz por la transformación de la energía eléctrica. Se pueden clasificar en cuatro grandes grupos que a su vez contienen subcategorías (CEFIRE, n.d.).

#### **1. Incandescentes**

Las lámparas incandescentes eran aquellas que al calentar un filamento metálico (hilo de wolframio), este se encendía al rojo vivo hasta llegar al blanco y así producía luz. La forma de producir luz por calentamiento se denomina efecto Joule. Este efecto funciona de manera que la corriente eléctrica que corre por un material conductor, cuando choca con los electrones de la energía cinética se convierte en calor. Este efecto fue descubierto por James Prescott Joule, un físico británico.

Estas lámparas tenían la ventaja de un precio muy bajo y de emitir luz cálida. Pero, a pesar de esta ventaja, tenían numerosas desventajas como su poca vida útil de aproximadamente 1000 horas, una mala reproducción cromática que solo emitía colores cálidos descartando de su espectro los fríos. Por último, tenían una mala eficiencia ya que perdían mucha energía. Únicamente se podía ver el 15%

de su energía, el 25% se convertía en calor y el 60% que quedaba eran las ondas de luz ultravioleta e infrarroja que el ojo humano no percibe.

La vida útil de la lámpara dependía de la temperatura a la que trabajaba el filamento. Cuanto mayor era la temperatura, aumentaba el flujo luminoso y a su vez el filamento se evaporaba más rápido disminuyendo así la vida de la lámpara.

Las lámparas incandescentes se dividían en dos tipos:

**Convencionales.** Eran aquellas que no contenían gas halógeno, sino que se comprimía un gas inerte una vez se realizaba el vacío. Al haber rellenado el interior con gas era más difícil que se evaporase el filamento, por lo tanto, aumentaba su eficacia y a su vez la temperatura a la que iluminaba. El rango de potencia de este tipo de lámparas se encontraba entre 25 y 2000 W. En cuanto a eficacia en las lámparas de vacío entre 7,5 y 11 lm/W y para las de gas inerte entre 10 y 20.

**Halógenas.** En este tipo de lámparas incandescentes el relleno gaseoso estaba compuesto por halógenos como el cloro, el bromo o el yodo. Este tipo de gas se utilizaba para impedir que se produjese el ennegrecimiento de la ampolla. Su rango de potencia se movía entre 150 y 2000 W con una eficacia de 22 lm/W.

## 2. De descarga

Las lámparas de descarga realizan una descarga eléctrica en el gas que se encuentra en la ampolla y de esta manera emiten luz. Necesitan un balasto que es un dispositivo compuesto por un filamento de cobre que permite que en el momento del encendido la lámpara eleve el voltaje inicial y después ya se reduce a un nivel normal de energía eléctrica.

Según el gas utilizado, se clasifican en:

**Lámparas de vapor de mercurio de baja presión.** Estas lámparas también son conocidas como lámparas fluorescentes. Están formadas por tubos que contienen el vapor de mercurio. En su interior se encuentra polvo fluorescente que mediante una descarga eléctrica le permite emitir luz a partir de la radiación ultravioleta invisible. Dependiente del tipo de fluorescente que contenga el tubo, la lámpara emitirá la luz en distintos colores y reproducción cromática.

Una de las grandes ventajas de esta lámpara es que el consumo eléctrico disminuye notablemente respecto a las lámparas incandescentes. También se mejora la reproducción cromática acercándose al color real de los objetos. Además, se puede destacar que el nivel de iluminación es mucho más elevado para una misma potencia. Como abarca un área de iluminación más amplia, la luz aparece más unificada y, por lo tanto, disminuye el deslumbramiento. Por último, disminuye el calentamiento y aumenta la vida útil a 7500 horas.

**Lámparas de vapor de mercurio de alta presión.** Cuanto mayor sea la presión a la que se encuentra este vapor, menor será la radiación ultravioleta, y por lo tanto mayor será la emisión del espectro visible.

La temperatura de color de estas lámparas ronda sobre los 3500 y 4500 K con un IRC que va desde 40 a 45 aproximadamente. La vida útil es un poco superior a las de baja presión, ascendiendo hasta las 8000 horas.

Dentro de las lámparas de vapor de mercurio de alta tensión existen con halogenuros metálicos que mejoran la reproducción cromática gracias a la adición de yoduros metálicos al tubo. Así la temperatura de color está comprendida entre 3000 y 6000 K, aumenta el IRC a entre 65 y 85 y también su vida a 10000 horas.

**Lámparas de vapor de sodio de baja presión.** La radiación que se produce en estas lámparas es monocromática, y forma en el espectro visible dos rayas muy cercanas la una de la otra (589 nm y 589,6 nm). Esto permite aumentar la eficiencia hasta un rango de entre 160 y 180 lm/W. Gracias a este tipo de lámparas mejora la agudeza visual y la vida media hasta 15000 horas, en cambio el IRC disminuye por ser lámparas monocromáticas.

Para poder disminuir su longitud y evitar que pierda calor se hizo el tubo con forma de U. El material que envuelve el sodio es muy resistente ya que este es altamente corrosivo y para que se convierta en vapor a una baja temperatura, se realizan unas ranuras para que el sodio pueda agruparse en ellas. A parte de este tubo, a su vez está envuelto por una ampolla que se encuentra al vacío y así se eleva su aislamiento térmico manteniendo su temperatura a 270 °C.

**Lámparas de vapor de sodio de alta presión.** Estas lámparas emiten una luz más blanca que las de baja presión ya que engloba la mayor parte del espectro visible. Esto les permite tener una temperatura de color de 2100 K y un IRC más elevado entre 65 y 80. Esto tiene como consecuencia disminuir la eficacia a 130lm/W, pero aun así sigue siendo mayor que los antes mencionados. Otra ventaja de este tipo de lámparas es que llega a tener una vida media de 20000 horas.

### 3. LED

El LED es un diodo emisor de luz, en inglés Light Emitting Diode, que se define como un emisor de luz que funciona gracias a un semiconductor que se mueve por la corriente eléctrica. Con la iluminación LED se deja de lado los filamentos incandescentes para iluminar mediante electroluminiscencia.

Son muchas las ventajas de este tipo de lámpara como por ejemplo su gran resistencia físicas, es mucho más difícil de romper que las anteriores. Como no está formada por un filamento incandescente, tendrá una durabilidad más elevada. Tienen un mayor rendimiento llegando incluso al 90% y una vida útil de hasta 100000 horas. La colorimetría de estas lámparas recoge un abanico muy amplio de aproximadamente 16 millones de colores. El LED tiene una fabricación y mantenimiento sencillo, no contamina, tampoco produce calor y tiene un tamaño pequeño para toda el área que es capaz de iluminar. Por todas estas ventajas, en la actualidad es el tipo de lámpara más utilizado.

### 4. OLED

Los paneles OLED conocidos en inglés como Organic Light Emitting Diode, son una nueva tecnología de lámparas hechas con materiales orgánicos que

emiten luz consiguiendo niveles de delgadez, flexibilidad y una mayor potencia que no se había visto anteriormente. Son las lámparas con mayor eficacia energética y se acerca más al espectro de la luz natural y llega a alcanzar las 50000 horas de vida útil (Rodríguez, 2018).

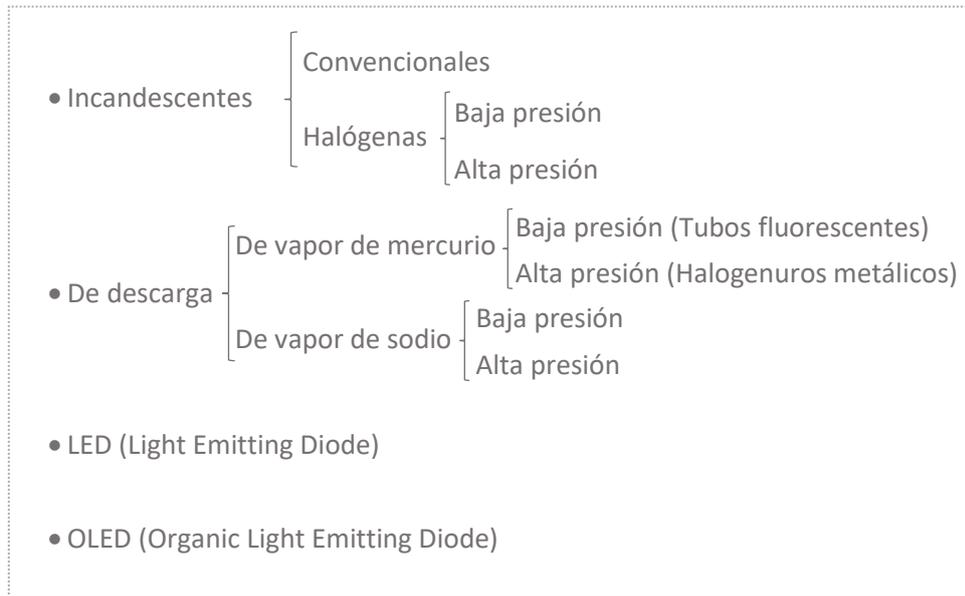


Figura 8. Esquema resumen de tipos de lámparas. Fuente: Elaboración propia.

## 2.4.2. SISTEMAS DE ILUMINACIÓN ARTIFICIAL

Las luminarias son las encargadas de dirigir, filtrar o modificar la luz. También son la base y la que se ocupa de conectar la red eléctrica con la lámpara. Por lo tanto, se debe diseñar correctamente con una buena orientación para evitar efectos negativos en los usuarios (*Clasificación según las características mecánicas de la luminaria*, 2014).

### 1. Sistemas directos

En estos sistemas la luz que emite la luminaria recae de forma directa sobre el objeto que se quiere alumbrar, todo esto sin que nada interrumpa el alumbrado del elemento (Folguera Caveda, 2013).

Como características se puede destacar:

- Es un sistema que como no refleja en otros paramentos antes de iluminar el objeto deseado, es más eficiente ya que la pérdida de energía es mucho menor.
- Al incidir el flujo luminoso de forma directa, la iluminancia es mucho mayor.
- El deslumbramiento por los grandes contrastes o reflexiones que se pueden producir es uno de los inconvenientes de estas luminarias.

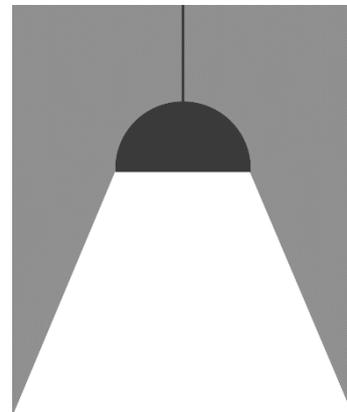


Figura 9. Iluminación directa. Fuente: Elaboración propia.

- Otro inconveniente de estas luminarias es poder observar directamente las fuentes de iluminación provocando deslumbramiento incapacitante, es decir, que produce ceguera en ese mismo instante.

## 2. Sistemas indirectos

En los sistemas de iluminación indirectos la luz incide sobre una superficie donde se produce la reflexión de la misma, iluminando en cierta dirección el elemento deseado incluso para un alumbrado ambiente (Folguera Caveda, 2013).

Normalmente los sistemas indirectos se utilizan para resaltar las superficies donde refleja la luz o para crear una sensación de iluminación global. Se suelen distribuir o perimetralmente creando un foseado o de forma central.

Destacan las características siguientes:

- Si se requieren iluminancias elevadas este sistema no es el más efectivo y por lo tanto no es económico ya que se consigue una luz difusa.
- Como el espacio deseado se ilumina mediante la reflexión de la fuente de luz, además de poder producir deslumbramiento por contraste, las figuras no se ven con tanta definición como en la luz directa.
- El color de los paramentos donde refleja la luz influye en el color resultante de la iluminación global.

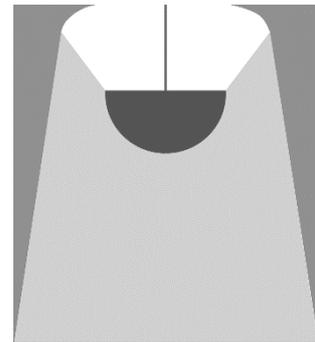


Figura 10. Iluminación indirecta.  
Fuente: Elaboración propia.

## 3. Sistemas mixtos

Son los sistemas más habituales donde se utilizan tanto los sistemas directos como indirectos. Gracias a esta combinación se pueden utilizar los sistemas según la tarea que se realice. Por ejemplo, en una biblioteca se puede utilizar sistemas indirectos para el alumbrado general y para las mesas de trabajo sistemas directos (Folguera Caveda, 2013).

### 2.5. LA INFLUENCIA DE LA LUZ EN EL SER HUMANO

Los pilares fundamentales de los seres humanos que son la salud, el bienestar y la seguridad, han estado influenciados por las condiciones de iluminación del entorno. Todo ello puede provocar efectos importantes en el rendimiento de los sujetos por medio de los siguientes sistemas: el visual, el circadiano y el perceptual (Castilla Cabanes, 2015).

La luz tiene influencia en el funcionamiento psicológico como puede ser el estado de ánimo y de alerta, el rendimiento, el bienestar, etc. Según Yvonne A. W. de Kort (de Kort, 2019) la influencia de la iluminación en el ser humano se puede clasificar en dos grandes grupos: los

mecanismos visuales y los no visuales. Aunque se haga esta división de grupos, también pueden afectar múltiples factores al rendimiento de trabajo.

### **2.5.1. MECANISMOS VISUALES**

Los mecanismos visuales son la forma en que la luz se percibe por medio del sistema visual. Los requisitos necesarios para mejorar las condiciones de iluminación se han estudiado durante las últimas décadas y su influencia en el rendimiento y confort visual y la visión espacial.

La luz es necesaria para que el ojo humano pueda ver. Como ya se ha comentado anteriormente, los bastones y los conos son los fotorreceptores que se encuentran en la retina que captan la luz y se encargan de transformarla en impulsos neuronales que llegan al nervio óptico. Este proceso de captar la luz también incluye la captación de contrastes, el color y el ojo se ajusta a las condiciones de luz del entorno. El ser humano es consciente de aquello que ve, una vez llega la información a la corteza visual (de Kort, 2019).

Cuando los niveles de iluminación son bajos trabajan los bastones ya que tienen una mayor sensibilidad a la luz, en cambio, con altos niveles de iluminación trabajan los conos por su poca sensibilidad a la luz.

#### **1. Rendimiento visual**

El rango de condiciones luminosas que el ser humano es capaz de procesar es muy amplio que va desde la luz del sol en todas sus horas, hasta la luz que emiten las estrellas y para poder hacerlo, el ojo tiene que adaptarse a estas. Por ejemplo, el contraste es una de las funciones que depende de cómo sea el objeto y del fondo de este y por supuesto también influirá la luminancia del lugar.

Se conoce como rendimiento visual a la rapidez y precisión con la que se realiza un trabajo visual. Rea y Ouellette en 1988 (de Kort, 2019) realizaron un modelo para estudiar el rendimiento visual según el área, el contraste y la luminancia del espacio. En este estudio se observó que cuanto más luz llega a la retina, aumenta el rendimiento visual. Pero esto no ocurre de forma lineal ya que, en un ambiente con muy poca luz, si se aumenta la mejora será muy significativa, en cambio cuando la iluminación es elevada, si se aumenta apenas se apreciará la mejora. Por otra parte, la visión en color ha mejorado sustancialmente la identificación de objetos incluso en situaciones de poco contraste. Con todo esto, se observa la complejidad que tiene el estudio de la visión.

#### **2. Confort visual**

Es difícil definir el confort visual y (de Kort, 2019) la mejor manera de hacerlo es hablar de la falta de comodidad visual aunque deja de lado las cualidades de las condiciones de iluminación del espacio. Una de las incomodidades visuales que más se ha estudiado es el deslumbramiento que dificulta la visión con un exceso de iluminancia. El dolor ocular y la tensión muscular son algunas de las consecuencias del deslumbramiento.

Se puede prever el nivel de incomodidad en algunos modelos según las circunstancias. En 1995 el CIE (International Commission on Illumination) creó la Clasificación Unificada del deslumbramiento para la iluminación interior de determinados modelos, pero se llegó a la conclusión de que estos modelos se refieren a situaciones muy específicas por lo tanto ni es exacto ni se puede generalizar (de Kort, 2019). Como consecuencia de todo esto, es fundamental entender el deslumbramiento para aplicar la iluminación LED ya que es la más utilizada en la actualidad.

Existen numerosos factores a parte de la luz que pueden influir en el confort visual como son la edad, la cultura, el momento del día, si el espacio está iluminado por iluminación natural o artificial, etc.

Por otra parte, las condiciones lumínicas pueden afectar estado de alerta, de ánimo y también al rendimiento. En una situación donde la iluminación es muy baja, cuesta concentrarse para realizar un trabajo.

### **3. Experiencia visual**

La luz ayuda al ser humano a recoger mayor cantidad de información de una escena, además, ayuda a seleccionar la información deseada dentro del campo visual. Flynn en 1973 en sus primeros estudios, llegó a la conclusión de que tanto el brillo como la luminancia contribuyen en la percepción de un espacio como puede ser la amplitud del lugar (de Kort, 2019). Incluso la luz puede hacer que el observador pase de percibir el entorno de acogedor a tenso, o de seguro a inseguro cuando es de noche. La luz puede conseguir que el espectador cambie la forma de percibir un espacio, por lo tanto, afecta al rendimiento, estado de ánimo y productividad.

En definitiva, la luz además de influir en la percepción de los espacios y objetos, también en cómo valorarlos y vincularse con ellos.

#### **2.5.2. MECANISMOS NO VISUALES**

En el ojo humano existen otros fotorreceptores que no son ni los conos ni los bastones, son las células ganglionares fotosensibles de la retina (*ipRGC*). Como el resto de fotorreceptores aparecen en la retina pero en una capa más profunda. De esta manera, la luz afecta al reloj biológico y a las alertas del cerebro, donde los impulsos no siguen el mismo camino y se dirigen al sistema circadiano en vez de a la corteza visual. Se llaman mecanismos no visuales ya que no forman parte de la experiencia visual.

Las células ganglionares fotosensibles, al igual que los conos y bastones, transforman la energía óptica, aunque con la melanopsina, un fotopigmento distinto que se encarga de regular los ritmos circadianos. En la curva espectral su sensibilidad más alta es de 470 nm aproximadamente (de Kort, 2019).

##### **1. Efectos circadianos**

Los efectos circadianos se relacionan con el reloj biológico interno que se adapta al horario diario de la tierra, es decir, 24 horas. La luz es fundamental para mantener un ritmo circadiano saludable, puede afectarles incluso más que cualquier droga.

Tanto la intensidad como el espectro de luz que inciden en la retina, tienen un papel fundamental en la estimulación de la melanopsina. Cuanto más se acerca a los niveles máximos de sensibilidad en el espectro visible, mayores efectos producirán las ipRGC. Los ritmos circadianos responden a la curva de respuesta por fases, si se adelantan las horas de luz, también lo hará el reloj biológico y si se atrasan las horas de sueño lo harán de igual modo.

La luz influye notablemente en la salud y bienestar de los seres humanos. Como afecta a la vigilia y al sueño, llevar un buen ritmo de estos, ayuda a superar trastornos como la depresión llegando a utilizar en muchas ocasiones la fototerapia como tratamiento. Como se observó que funcionaba, en la actualidad se utiliza para numerosos problemas como el déficit de atención e hiperactividad, la bulimia, la demencia, etc. En definitiva, para un buen rendimiento durante el día es necesario el sueño saludable para así tener el sistema circadiano regulado (de Kort, 2019).

## **2. Efectos agudos**

El sistema fisiológico, endocrino y cerebral también se ven afectados por la luz. Estos responden únicamente durante la exposición a la luz, desde que se enciende hasta que se apaga. Por ejemplo, en espacios donde la fuente de luz tiene una intensidad elevada y tiende a temperaturas de color azuladas, el estado de ánimo mejora, al igual que aumenta el nivel de alerta y concentración, aunque esto también influye en que se haga un esfuerzo mayor durante la exposición a la luz. Esa exposición aguda, tiene efectos en el sistema psicológico y también participan las células ganglionares fotosensibles de la retina.

Se puede llegar fácilmente a la conclusión de que la luz influye en el comportamiento humano, pero si se trata de establecer unos criterios y generalizar para todos los casos, entonces es cuando empiezan a aparecer los problemas. Por ejemplo, si un estudio se plantea de forma psicológica pueden aparecer mecanismos fisiológicos y al revés. Por lo tanto, hay que tener en cuenta todas estas variantes para poder estudiar la influencia de la iluminación.

Aunque todavía quede mucho por aprender, es importante tener en cuenta la iluminación de los espacios en sus diseños. Entre la década de los 70 y los 80, en muchos estudios se desestimaron los mecanismos no visuales y eso podría provocar confusiones en sus estudios ya que toman un papel muy importante en cómo influye la luz.

En la actualidad, gracias a las nuevas tecnologías se ha avanzado mucho realizando estudios de iluminación, además el impacto que ha generado en los seres humanos cada vez más se está analizando y diversificando.

### **2.6. LA ILUMINACIÓN, EL APRENDIZAJE Y EL ENTORNO DOCENTE**

Desde que aparecieron las escuelas, se dio mucha importancia a que tanto la presencia como la ausencia de luz afectan sustancialmente al aprendizaje de los alumnos, de hecho, provoca efectos en el rendimiento del alumnado. Esto viene por el efecto que genera en el sistema visual, en el psicológico, en el biológico y por último en el fisiológico (Castilla et al., 2018a).

Según Castro y Morales (Castro y Morales, 2015) existen unas condiciones ambientales mínimas para el aprendizaje de los estudiantes:

*“Debido a que el aprendizaje es multifactorial y complejo, demanda la existencia de condiciones ambientales mínimas, especialmente porque el ambiente enseña por sí mismo. Aspecto que se corroboró mediante las observaciones realizadas en los salones de clase de diversos centros educativos en el país, las cuales evidenciaron las diferencias y carencias existentes en los ámbitos físico, emocional, metodológico y motivacional de los ambientes de aula, en elementos tales como: la temperatura, la ventilación, el color de las paredes, el cielo raso, la intensidad de la luz, las decoraciones sin objetivo pedagógico y poco acordes con la edad y etapa del desarrollo de los estudiantes, recursos y materiales limitados y precarios,[...]”*

El poder conseguir unas condiciones de iluminación de alta calidad en los espacios docentes es una labor compleja. Normalmente, los experimentos que se ejecutan para buscar unas buenas condiciones de iluminación se llevan a cabo en laboratorios donde se pueden controlar concretamente los efectos que provocan las variables por separado. En cambio, en un aula real es más difícil de controlar ya que existen muchas distracciones que pueden alterar los resultados obtenidos (Castilla et al., 2018a).

Además, es importante investigar sobre la influencia de la luz en los espacios docentes, ya que para diseñar estos lugares los arquitectos e ingenieros deben tener en cuenta tanto su propio criterio como la preferencia de los estudiantes. Este aspecto es de vital importancia porque se ha podido demostrar que el ambiente de los espacios docentes influye en el aprendizaje, la asistencia y la motivación del alumnado (Castilla et al., 2018b). En definitiva, los espacios docentes que se vayan a crear tendrán que considerar no solo la cantidad de luz, sino que también la calidad de luz. En los estudios se tendrá que dar una mayor importancia a las reacciones involuntarias de los individuos y no solo a sus respuestas subjetivas.

Con la aparición de los LED se pueden crear ambientes más eficientes ya que la vida útil de este tipo de iluminación es mayor y tienen un bajo consumo. También son más versátiles con la luz que emiten, por lo tanto, son más atractivos.

## **2.7. LA ILUMINACIÓN NATURAL EN LOS ESPACIOS DOCENTES**

El avance de las tecnologías ha originado una mejora en la eficiencia energética de la iluminación artificial. Pero todavía se pueden conseguir valores todavía más bajos de energía si la iluminación artificial que se utiliza en los espacios docentes se combina con un mayor uso de la iluminación natural. Por ejemplo, en lugares como Mendoza en Argentina, existen numerosos días claros, es decir, muchas horas de luz solar. Por ello, si en ciudades como Mendoza se fomenta la utilización adecuada de luz natural en los espacios docentes, disminuirá considerablemente el consumo energético en un rango de entre el 50% y 80% (Juan Manuel Monteoliva y Pattini, 2013).

El aporte de iluminación artificial que ayuda a completar el aporte de luz natural en los días que no consigue llegar a los niveles mínimos recomendados se llama luz artificial complementaria (Juan Manuel Monteoliva et al., 2014).

Para poder utilizar la luz natural como fuente que ilumine los espacios docentes, a parte de tener que llegar a niveles de iluminación elevados, tiene que evitar la luz directa del sol para que no deslumbre a los estudiantes durante el transcurso de las clases. Otro aspecto a tener en

cuenta para poder hacer un uso mayor de la luz natural es hacer coincidir las horas de mayor aprovechamiento de la luz solar con las horas de docencia. (Juan Manuel Monteoliva y Pattini, 2013).

Normalmente en los espacios docentes, los meses que se imparte la docencia suele ser en las épocas templadas y en invierno, coincidiendo las vacaciones con la época de más calor. Por lo tanto, si una clase se orienta hacia el este, solamente captará la luz solar por la mañana, y por la tarde si se orienta al oeste. En cambio, si se sitúa hacia el norte se beneficiará del asoleamiento durante todo el curso escolar (Juan Manuel Monteoliva et al., 2014).

## **2.8. LA ILUMINACIÓN ARTIFICIAL EN LOS ESPACIOS DOCENTES**

Para diseñar una escuela, uno de los factores más importantes es el diseño de la iluminación. Hasta 1950, la iluminación natural tenía un papel protagonista en las aulas, ya que su iluminación se basaba en ella. Para diseñar un aula, se centraban en la dimensión de las ventanas y del aula. Pero el basar su iluminación en la luz natural llevaba a muchos conflictos porque durante los días nublados el nivel de iluminación es mucho menor al recomendado. Por tanto, cuando el precio de la energía eléctrica empezó a disminuir, la iluminación artificial empezó a tener un papel importante en las aulas (Benya, 2001).

A partir de ese momento, el tamaño de las ventanas de las nuevas escuelas empezó a reducirse para así poder mantener la energía. De esta manera, hubo una desvinculación con el exterior porque evitaba distracciones hasta el punto de volverse sofocantes. Pero en la actualidad, se está volviendo a introducir la luz natural en las aulas por los beneficios que tiene en la psicología y la fisiología del ser humano (McCreery y Hill, 2005).

Nuria Castilla (Castilla Cabanes, 2015) en su documento de ‘La Iluminación Artificial en los Espacios Docentes’ afirmó que:

*“Hoy en día, hay suficiente razón para creer que la luz natural proporciona las mejores condiciones de iluminación y nadie puede negar que, empleada correctamente, puede reducir drásticamente la iluminación eléctrica, la energía y los costes de mantenimiento, incluso en días nublados o en las latitudes del norte.”*

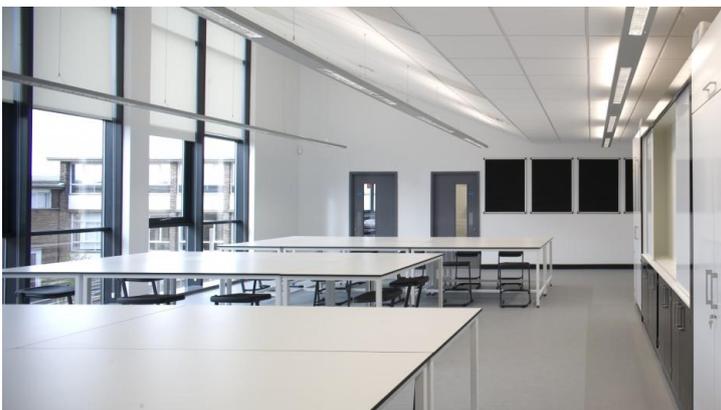


Figura 11. Combinación de luz natural y artificial en un aula. Fuente: Steon.

## **CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS SOBRE LA PERCEPCIÓN DE LA ILUMINACIÓN EN ESPACIOS DOCENTES**

---

### **3.1. ESTÍMULOS LUMÍNICOS EMPLEADOS**

Este análisis de los estudios sobre la percepción de la iluminación se centrará en dos de los estímulos más importantes que pueden influir en la percepción de los estudiantes, que son: la iluminancia y la temperatura de color.

#### **3.1.1. ILUMINANCIA**

La iluminancia también conocida como niveles de iluminación es uno de los principales parámetros lumínicos que pueden crear una sensación subjetiva en el observador. Este es uno de los más analizados para realizar los estudios, tanto de la luz natural como de la artificial, ya que afecta a la salud y bienestar de los usuarios.

Smolders et al. (Smolders et al., 2012) realizaron un estudio a 32 estudiantes para ver cómo puede llegar a mejorar el rendimiento y el estado de alerta mediante cambios en la iluminancia. Se utilizaron dos tipos de iluminancia, 200 lx y 1000 lx y se tomaron dos momentos del día, uno por la mañana y otro por la tarde. Hubo una fase inicial por sesión de media hora a 200 lx y 4000 K y luego, la fase experimental, se dividía en cuatro bloques de 15 minutos a 4000 K. Además, en ninguna de las sesiones hubo contribución de la luz natural.

Se colocaron 3 luminarias en el techo con una iluminancia de 200 lx como iluminación ambiente y otras en la pared con 200 o 1000 lx en el momento del experimento. También se tuvo en cuenta la diferencia horaria entre mañana y tarde.

Los resultados mostraron que en las condiciones de 1000 lx los estudiantes se encontraban con mayor vitalidad y con menor somnolencia que con una iluminancia de 200 lx. La diferencia horaria no tuvo efectos significativos en el estudio realizado.

En este estudio se llegó a la conclusión de que la iluminancia tuvo un impacto significativo en el rendimiento de los estudiantes. Además, propuso que una iluminancia de 1000 lx sirva para ayudar a las condiciones de cansancio y así mejorar la vitalidad.

Por otro lado, los ritmos circadianos se pueden ver afectados por la luz mediante los mecanismos no visuales durante las 24 horas del día. Numerosos estudios han confirmado que los altos niveles de iluminación provocan efectos de alerta tanto en el sistema fisiológico como en el biológico (Huiberts et al., 2015). Sin embargo, existen estudios con diferentes resultados respecto a la influencia de la iluminancia para realizar un trabajo. Con esto se llega a la conclusión de que, según la tarea desempeñada, la iluminancia pueda afectar de distintas formas.

Huiberts et al. (Huiberts et al., 2015) investigaron los efectos que la iluminancia puede provocar en los mecanismos no visuales según la dificultad de la tarea. Como se conoce que los altos niveles de iluminación provocan excitación fisiológica, en este estudio se esperaba que para realizar una tarea difícil el nivel óptimo de iluminación fuera bajo, en cambio, para tareas fáciles se espera un buen rendimiento con una iluminancia alta.

Por ello, en este estudio de tipo cruzado se eligieron dos niveles de iluminancia, 200 lx y 1000 lx, para realizar dos tareas con distintas dificultades. Participaron 64 estudiantes que estuvieron expuestos a los dos tipos de ambientes. Unos primero a una iluminancia de 1000 lx y los otros a 200 lx para luego intercambiarse.

En el primer bloque de 15 minutos, la iluminación ambiente era de 100 lx y sobre la mesa de estudio de 275 lx. Luego en la fase experimental se subió a 200 lx la luz de ambiente y a 580 o 1000 lx la iluminación horizontal, y por último, 2900 lx también focalizada.

Se intentó que en cada una de las sesiones de trabajo las diferencias de iluminancia fueran inapreciables para poder ser lo más exacto posible. De esta manera, cada uno de los participantes formó parte de los cuatro bloques de estudio.

Por la mañana, los participantes con una iluminancia de 1000 lx se sentían con mayor vitalidad y menos somnolientos que con 200 lx. En cambio, por la tarde, con una iluminancia de 1000 lx se encontraban con una menor vitalidad y más somnolientos que con los 200 lx. En cuanto a la hipótesis del tipo de iluminancia según la dificultad de la tarea a realizar, no se obtuvieron resultados significativos.

Se llegó a la conclusión de que la iluminancia afectaba al rendimiento según el momento del día. Se observó que, para los mecanismos no visuales, una elevada iluminancia no es beneficiosa.

Por otra parte, los primeros estudios realizados sobre el TAE (trastorno afectivo estacional), revelaron que pueden impedir el correcto aprendizaje de los estudiantes. Este trastorno aparece por la escasez de luz solar normalmente en países donde abundan los días lluviosos y provocan el aumento de la melatonina.

Una vez conocidas las células ganglionares fotosensibles, se descubrió que la melatonina, la luz y el TAE estaban directamente relacionados. Por ello, se conoce que la luz es el tratamiento adecuado para superar el TAE (Yang et al., 2019).

Yang et al. (Yang et al., 2019) realizaron un estudio con el objetivo de encontrar un tipo de iluminación para las aulas universitarias donde puedan disminuir los estudiantes con TAE en zonas con falta de luz solar.

En otras investigaciones se centran en la correcta iluminancia para las zonas de trabajo para obtener resultados con mayor utilidad, en cambio, este se centra en las zonas de trabajo donde los participantes estudian.

Se escogieron a 80 participantes entre 18 y 25 años. 64 de ellos con TAE que se dividieron en 8 grupos de 8, dos grupos más de control con TAE y por último dos grupos de 16 con estudiantes negativos.

Se realizó un experimento previo donde se observó que, subiendo la iluminancia de 2000 lx a 3000 lx, disminuía la capacidad mental de los estudiantes. Pero cuando se aumentaba la iluminancia a más de 3000 lx no se apreciaba la diferencia de capacidad mental. Por ello, para realizar en análisis se limitó la iluminancia a 3000 lx para así poder beneficiar sus necesidades visuales. Se utilizaron tres tipos de iluminancia: 1000 lx, 2000 lx y 3000 lx, combinado con dos tipos de temperatura de color correlacionada: 4000 K y 5000 K.

Primero, se hizo una comparación entre los niveles de melatonina de los estudiantes con y sin TAE antes de la exposición. Como resultado, se observó que existían grandes diferencias entre los positivos y negativos, pero las diferencias entre el mismo grupo de positivos eran insignificantes.

Los resultados de las intervenciones que tenían la misma iluminancia (1000, 2000 o 3000 lx) no se observaron diferencias con el cambio de temperatura de color de 4000 a 5000 K. También se observó que cuando la exposición superaba la iluminancia de 1000lx, se podía llegar a parar la secreción de melatonina durante el día.

A los 7 días de exposición de 3000 lx por hora cada día, no se llegaban a observar cambios en el nivel de melatonina de los TAE. Estos cambios se empezaron a apreciar durante la segunda semana. Mientras se iba aumentando la iluminancia, el nivel de melatonina iba disminuyendo, en cambio, cuando llegaba al valor de 3000 lx combinado con una temperatura de color correlacionada de 5000 K, la melatonina podría disminuir de forma radical a lo largo de las dos semanas de exposición.

Como conclusión, el aumento de la iluminancia y temperatura de color puede reducir el nivel de melatonina de los estudiantes universitarios, y como consecuencia, ayudar a superar la enfermedad a los TAE.

En cuanto a los sistemas de iluminación LED, existen con luz blanca ajustable que puede variar su iluminancia y temperatura de color para imitar la luz diurna además de complementarla. Estos sistemas están cada vez más vistos en zonas de trabajo, pero todavía se sabe poco de cómo afecta al rendimiento y bienestar del ser humano (Aries et al., 2020).

La luz que los humanos perciben por los ojos para poder ver también afecta a otros sistemas a parte del visual. Cuando llega a la retina, activa los conos, bastones y las células ganglionares fotosensibles.

Cuando la iluminancia de una fuente de luz al nivel de los ojos supera los 1000 lx se consideran como niveles altos de iluminancia. A través de muchos estudios se ha investigado sobre el efecto de una iluminancia elevada que puede beneficiar a la salud, bienestar y el rendimiento de los humanos (Aries et al., 2020). Sin embargo, otros estudios no han podido corroborar estos beneficios.

La investigación que realizó Aries et al. (Aries et al., 2020) consistió en buscar los efectos en el estado de ánimo y el rendimiento durante la exposición a una iluminación variable en dos tipos de escenarios. Participaron 20 personas en cada escenario mediante una metodología experimental dual. Los dos tipos de iluminación variable se utilizaron en los dos laboratorios y consistía en un aumento de la iluminancia por la mañana para ir disminuyéndola hasta por la tarde, y al revés.

Normalmente, en estas oficinas los trabajadores podían controlar esta iluminación variable, pero durante el estudio, se controlaba desde la central para poder utilizar la iluminancia deseada por la investigación.

Se partía de la base estática con los niveles de iluminación que se utilizaban en el día a día, con una iluminancia horizontal sobre los escritorios de 487 lx y otra vertical a la altura de los ojos de 384 lx.

La primera exposición fue de mayor a menor iluminancia, se empezaba con una iluminancia horizontal de 500 lx que de 8:00 a 10:00 se aumentaba a 870 lx y la iluminancia a la altura de los ojos a 690 lx. Pasadas las 11:30 se volvía a la iluminancia inicial. Una vez terminaba la hora del almuerzo, la iluminancia se disminuyó a 238 lx en las luminarias de escritorio y a 185 lx a la altura de los ojos para finalmente volver al nivel de iluminación inicial.

La otra exposición se realizó al revés, de menor a mayor iluminancia. El comienzo fue de la misma manera que el anterior, a 500 lx, para después bajarla de 8:00 a 10:00 a 238 lx sobre los escritorios y a 185 lx a la altura de los ojos. A la hora de almuerzo, se volvía al nivel inicial. Llegada la 13:30, se aumentó el nivel de iluminación sobre los escritorios a 870 lx y a la altura de los ojos a 690 lx. A las 15:30 se volvía al nivel inicial de iluminancia.

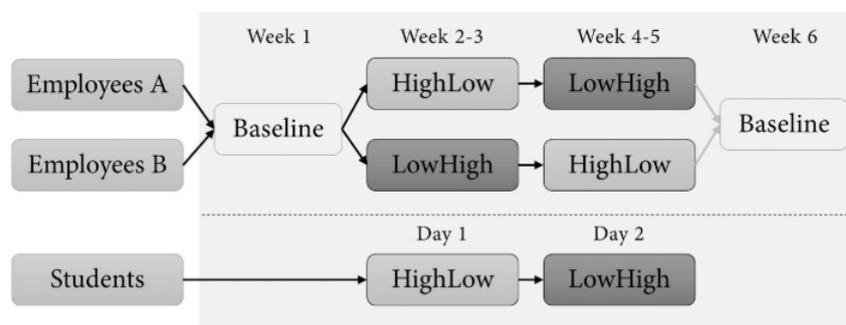


Figura 12. Esquema de los tres grupos de trabajo, los empleados en el estudio de campo y los estudiantes en el laboratorio. Fuente: (Aries et al., 2020).

Se eligieron cambios de iluminancia poco bruscos para comprobar si estas pequeñas variaciones creaban algún efecto en el bienestar y rendimiento del ser humano a lo largo del día. Los resultados obtenidos fueron distintos a lo que se esperaba, ya que encontraron mejoras con la iluminación constante inicial en vez de con la iluminación variable. Esto se supuso que sería por la pequeña muestra escogida y por las diferencias entre ambos escenarios.

Se ha comprobado que los niveles de iluminación de los LED crean un efecto tanto en la atención como en la memoria a largo plazo, aunque no aparecen resultados exactos sobre cuál es la iluminancia más adecuada. Por ello, Chung Won Lee y Jin Ho Kim (Lee y Kim, 2020) realizaron un estudio para verificar estos efectos creados por los LED.

En esta investigación se utilizaron cuatro tipos de iluminancias (300 lx, 400 lx, 500 lx y 1000 lx). Por otra parte, se esperaron 24 horas para poder medir la memoria a largo plazo y así diferenciarla de la memoria de trabajo.

El estudio se realizó a 20 adultos sin ningún problema cognitivo con las iluminancias anteriormente mencionadas y con una temperatura de color invariable de 5500 K. Los usuarios se distribuyeron de manera aleatoria en cada una de las cuatro iluminancias de 300 lx, 400 lx, 500 lx y 1000 lx. Antes de empezar con la tarea asignada, se expusieron a una fase de adaptación primero de luz y luego de oscuridad durante dos minutos.

Se comprobó que con una iluminancia de 1000 lx mejoraba la atención de los participantes y disminuía conforme bajaba el nivel de iluminación. En cambio, para la memoria a largo plazo se mostraba un mayor rendimiento con 400 lx y el peor a 300 lx. Con estos resultados se llegó a la conclusión de que hay que diferenciar la iluminancia para la atención y para la memoria a largo plazo.

En cuanto a la iluminación ambiente, aparece en estudios como un factor importante en comportamiento social entre los seres humanos. De hecho, aquellos que investigan la psicología ambiental y social lo corroboran. Algunos sugieren que la luz tenue incita a un comportamiento egoísta y antisocial, en cambio, otros defienden lo contrario, que la luz tenue ayuda a socializar (Esteky et al., 2020).

Esteky et al. (Esteky et al., 2020) realizaron un estudio con tres ensayos para analizar los efectos de la iluminación en el comportamiento social. En el primer estudio se cogieron participantes introvertidos y extrovertidos, sumando un total de 75 en Alemania y 80 en Canadá. Se utilizaron dos tipos de iluminación, una elevada (1000 lx) y otra más tenue (200-300 lx). En los resultados de este primer ensayo se obtuvo que la iluminación influye de manera directa a la personalidad, sino que interactúa con ella para así provocar un efecto en la socialización. En las personas dependientes se observaba una mayor facilidad para socializar con una elevada iluminancia, en cambio, para las personas independientes mejoraba con la luz tenue.

Con la información del primer ensayo, en el segundo, se estudió la interacción entre la iluminación y la conducta autoconstructiva para observar los efectos en el comportamiento social. Se realizó a 170 estudiantes con dos tipos de iluminación, una tenue y otra brillante, dividiéndose en dependientes e independientes y se utilizaron las mismas iluminancias que en el primer ensayo. Los resultados que se obtuvieron confirmaron y ampliaron los datos obtenidos en el primer estudio. En este caso los cambios se obtuvieron por una mayor confianza de los participantes frente a los ambientes tanto con la alta iluminación como con la luz tenue. Esto sobre todo ayudó a los participantes dependientes a socializar.

Por último, en el tercer ensayo se quiso ampliar los estudios anteriores analizando el comportamiento de voluntariado de los participantes y el papel que toma la confianza en público. Participaron 256 estudiantes con las mismas condiciones lumínicas que los anteriores, 1000 lx y 200 lx. En cuanto a los resultados, se obtuvo que los participantes con los altos niveles de iluminación tenían una mayor predisposición a ayudar que los de los bajos niveles de iluminación. También se observó una mayor voluntad con los estudiantes más dependientes.

Después de realizar los tres ensayos se llegó a la conclusión de que, hasta el momento, no se han obtenido resultados firmes que confirmen los resultados contradictorios de la relación entre la iluminación y el comportamiento social. Pero como norma general, se ha comprobado que con altos niveles de iluminancia los estudiantes independientes mejoran su comportamiento social, en cambio los dependientes mejoran con una menor iluminancia.

### 3.1.2. TEMPERATURA DE COLOR CORRELACIONADA (TCC)

Otro de los estímulos que tiene un papel importante en la influencia de la iluminación es la temperatura de color correlacionada (TCC) para determinar los efectos de la luz blanca sobre la fisiología y psicología del ser humano.

A través de los mecanismos no visuales, la exposición a la luz puede afectar al sistema circadiano de los seres humano, con una mayor importancia cuando en la curva espectral las longitudes de onda son cortas.

El estudio que realizaron Chellappa et al. (Chellappa et al., 2011) se centró en investigar el impacto en el rendimiento y el estado de alerta con las lámparas fluorescentes compactas con todos los niveles de temperatura de color que estuviesen disponibles en estas lámparas. Se realizó un estudio de tipo cruzado a 16 estudiantes con una exposición a la luz con tres tipos de ajustes en las luminarias. Para las lámparas fluorescentes compactas una TCC de 6500 K y 2500 K y con una iluminancia de 40 lx. Para las lámparas incandescentes la temperatura de color utilizada fue de 3000 K. Esta exposición se realizó durante 2 horas entre las 21:30 y las 23:30 de la noche.

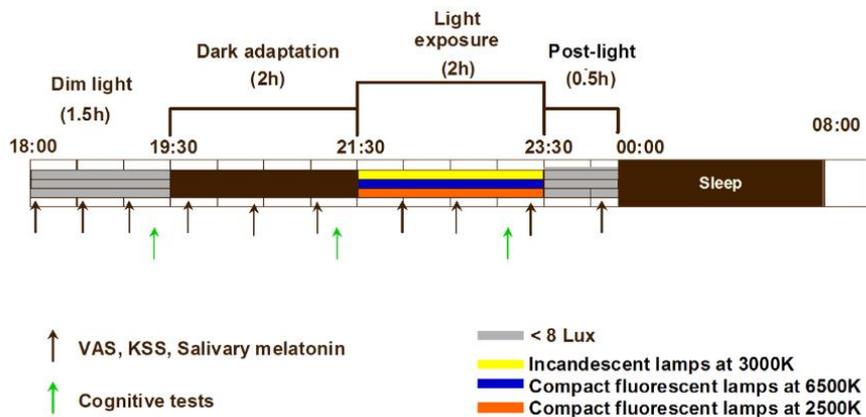


Figura 13. Esquema de la exposición a la luz con los diferentes procesos llevados a cabo y las temperaturas de color utilizadas. Fuente: (Chellappa et al., 2020).

Los resultados que se obtuvieron fueron que con una temperatura de color de 6500K se conseguían niveles de melatonina más bajos, además de aumentar el estado de alerta, bienestar y comodidad visual. También con este tipo de iluminación mejoran tanto el rendimiento cognitivo como los tiempos de reacción.

El siguiente artículo a revisar, es el estudio de Hidayetoglu et al. (Hidayetoglu et al., 2012) que se centró en buscar resultados para mejorar el diseño de interiores para así poder crear ambientes agradables.

Participaron en él 120 estudiantes universitarios durante dos sesiones y se realizó a partir de imágenes virtuales, ya que los resultados del trabajo real al virtual eran despreciables.

En la primera sesión, se tuvieron en cuenta el color y la luz para así obtener las variables que ayuden a la orientación y a los procesos cognitivos. Se utilizaron tres niveles de colores (cálido, neutral y frío), tres iluminancias (baja, media y alta) y tres temperaturas de color (blanco cálido 2700 K, blanco neutro 4000 K y luz diurna 5300 K).

En la segunda sesión, ya fue para concretar el color y las singularidades de la luz. Se les puso un vídeo a los participantes dos veces y después se les mostro 7 imágenes de escenarios extraídas del vídeo. Los siete escenarios fueron: “luz diurna (5300 K) (R1), blanco cálido (2700 K) (R2), colores cálidos (R3), alto nivel de brillo (500 lx) (R4), colores fríos (R5), bajo nivel de brillo (10 lx) (R6) y un valor medio de todas las variables que representan un espacio neutro (color neutro, 4000 K y 250 lx) (R7).” (Hidayetoglu et al., 2012)

Para centrarse en la temperatura de color, se observó en los resultados obtenidos, que el blanco neutro (4000 K) fue el más favorable respecto a las otras temperaturas expuestas. Como consecuencia, la utilización del blanco cálido (2700 K) fue la condición más desfavorable.

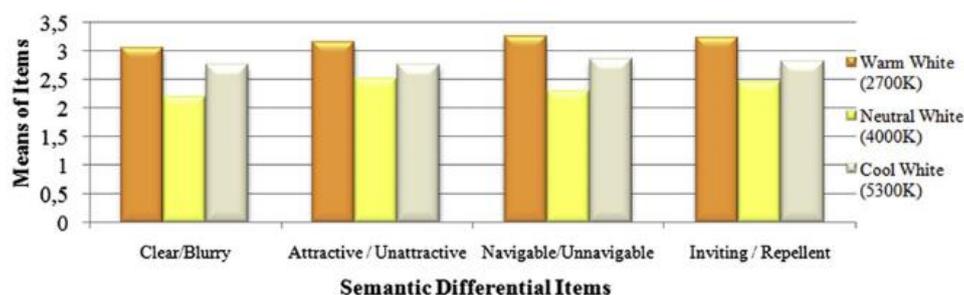


Figura 14. Gráfica representativa de la percepción de los participantes de la temperatura de color correlacionada. Fuente: (Hidayetoglu et al., 2012).

El estudio realizado por Smolders y de Kort (Smolders y de Kort, 2017) se centró en investigar cómo afecta la temperatura de color correlacionada a la alerta y vitalidad tanto por la mañana como por la tarde. El objetivo de esta investigación fue completar estudios previos donde se examinaba la afección de la TCC a lo largo del día.

Se emplearon múltiples medidas para analizar los efectos anteriormente mencionados provocados utilizando dos TCC, una de 6000 K y otra de 2700 K, tanto por la mañana como por la tarde. Participaron 39 estudiantes que acudieron en dos días separados, en una sesión se expusieron a 2700 K y en la otra sesión a 6000 K. Además, el horario de mañana y de tarde siempre se hacían durante las mismas horas sin aportación de luz diurna.

Los resultados que se obtuvieron no fueron lo suficientemente claros, ya que no se probó que una mayor temperatura correlacionada de color tuviera efectos significativos en la afección, el rendimiento y la actividad de los seres humanos en el tiempo de una hora ya sea por la mañana o por la tarde.

El único efecto positivo que se pudo mostrar fue una mayor vitalidad por la mañana con una elevada TCC. En cambio, el efecto que podía provocar en la somnolencia que se encuentra relacionada con la vitalidad, no pudo ser demostrado.

Por otra parte, en muchos estudios se ha podido demostrar el impacto de la temperatura correlacionada de color en la comodidad visual, el rendimiento y las preferencias. En cambio, no existe ningún modelo que te permita utilizar una TCC específica para cada tipo de escenario. Además, la iluminación LED, desde unos años atrás está siendo el tipo de iluminación más utilizado. Este tipo de iluminación también

permite que puedan tomarse tanto valores muy elevados como muy bajos de temperatura correlacionada de color a diferencia del resto de luminarias (Wang et al., 2017).

Wang et al., (Wang et al., 2017) hicieron un estudio a 12 estudiantes universitarios con un conjunto de 12 tipos de temperatura correlacionada de color: 2000 K, 2500 K, 3000 K, 3500 K, 4000 K, 4500 K, 5500 K, 6500 K, 8000 K, 10000 K, 20000 K y 100000 K. Una fuente de luz tiene como valores máximos, una TCC de 25000 K, pero en este ensayo quisieron analizar la TCC de 100000 K para averiguar los efectos de la luz con altos niveles de azul. Además, para cada uno de los 12 tipos de TCC se utilizaron tres iluminancias: 350 lx, 500 lx y 1000 lx. Esto sumaba un total de 36 tipos de condiciones lumínicas.

Por lo que respecta a la combinación de iluminancias y TCC, se suponía que la combinación más adecuada era la de una temperatura de color de 6500 K con una iluminancia de 1000 lx, en cambio los resultados para los tres niveles de iluminación fueron similares.

La temperatura de color tanto para un espacio de trabajo como para la relajación ronda entre el rango de 4500 K y 6500 K. Se llegó a la conclusión de que cuando ambos estímulos se encontraban dentro de un rango adecuado, no afectaban a la comodidad de los individuos. Además, se dio mucha importancia al espacio a iluminar y su adecuada ambientación a la tarea a realizar. En definitiva, se determinó que para una escena de comodidad y relajación eran más adecuados los niveles bajos de TCC y para el espacio de trabajo una TCC mayor.

Existen estudios que alegaron que tanto la intensidad como la composición espectral generaban efectos en el estado de alerta, pero según te Kulve et al. (te Kulve et al., 2018) esta afirmación todavía no se ha probado, en especial durante el día. Durante la noche, el estado de alerta sí que está relacionado con la baja secreción de melatonina, en cambio durante el día la melatonina suele estar a niveles muy bajos.

Te Kulve et al. (te Kulve et al., 2018) realizaron un estudio para analizar el estado de alerta que provoca la luz durante la mañana con distintas temperaturas de color correlacionadas.

Se llevó a cabo con un estudio cruzado con 16 mujeres en dos sesiones distintas. En una los participantes se expusieron a una temperatura de color correlacionada de 2700K y en la otra sesión a 6500 K, ambos escenarios con una iluminancia de 55 lx. Cada una de las sesiones, estaba dividida en cuatro fases: una fase inicial, la siguiente con un ambiente térmico frío, otra con un ambiente neutro y, por último, con un ambiente cálido.

Se obtuvieron como resultados que para la reacción del usuario mientras realiza una tarea fue menor con una TCC de 6500 K, por el contrario, no se observó ningún efecto provocado por esta TCC en la somnolencia. También se midió la temperatura corporal de los participantes y se notificó que aumentaba con la TCC de 6500 K. Por último, no se pudo confirmar porque la reacción en una tarea mejoró con una TCC de 2700 K.

Los ipRGC tienen como límite de sensibilidad la zona azulada del espectro visible en su longitud de onda más corta, esto ha provocado que se forme el término llamado luz azul. Además con la aparición de la nueva tecnología de luz inteligente, ayuda a que se puedan reproducir un rango más amplio de colores (Choi et al., 2019).

Como consecuencia de que las luces que abarquen distintas temperaturas de color pueden generar distintos efectos en la fisiología del hombre. Además, gran parte de lo que se sabe sobre la influencia de la iluminación es gracias a los estudios que se realizaron por la noche.

En el estudio realizado por Choi et al. (Choi et al., 2019) se analizaron el efecto de las distintas temperaturas de color de la iluminación LED en la fisiología del hombre por la mañana. Se eligieron a 15 estudiantes para exponerlos a las temperaturas de color de 3500 K (blanco cálido) y 6500 K (blanco enriquecido con azul).

Después de la exposición, los niveles de melatonina disminuyeron con la iluminación enriquecida con azul, en cambio, con el blanco cálido no se apreciaron diferencias significativas. Por lo tanto, con una mayor TCC disminuía considerablemente el estado de somnolencia de los estudiantes.

En relación con la iluminación LED, es el tipo de fuentes de luz con mayor eficiencia energética y más económica. Además, tiene como ventaja poder manipularla con un rango muy amplio de niveles de iluminancia y temperatura de color para poder modificarlos según el uso.

Por ello, Hsieh et al. (Hsieh et al., 2020) realizaron un estudio sobre la iluminación led y su efecto en la percepción visual a partir de la combinación de la iluminancia y la temperatura correlacionada de color.

El estudio se dividió en dos partes. Una primera parte consistía en buscar adjetivos para calificar la iluminación. La segunda parte, se investigó sobre la percepción visual con la iluminación LED.

En la primera parte participaron 30 personas y se revisaron estudios anteriores que trataran sobre la iluminación para poder sustraer los adjetivos adecuados para explicar la iluminación. Además, se añadieron nuevos términos apropiados para describir la iluminación. Al final, se consiguió reunir un total de 34 parejas de adjetivos como, por ejemplo, frío y cálido.

En cuanto a la segunda parte, el experimento se realizó a 40 participantes divididos en cuatro grupos según la edad: los de 20 años, 30 años, 40 años y por último entre 50 y 65 años.

Desde un centro de control, se manipuló la temperatura de color y la iluminancia a utilizar. Los niveles utilizados fueron entre 9000 K y 3000 K para la TCC y entre 900 lx y 100 lx para la iluminancia. Dentro de estas TCC, se escogieron cinco niveles dentro de los modelos comerciales: 3000 K, 4000 K, 5000 K, 5700 K y 6500 K. Estos se combinaron con cuatro iluminancias: 300 lx, 500 lx, 700 lx y 900 lx. Esto sumaba en total 19 combinaciones ya que la combinación de 3000 K y 900 lx no se pudo conseguir.

Los resultados obtenidos de este experimento revelaron una diferencia significativa de la percepción visual con una TCC de 5700 K y 4000 K. Luego la TCC de 6500 K fue

valorada por los participantes como más vivaz que la de 4000 K, esto implica un aumento de la percepción de la intensidad con una mayor temperatura de color.

Uno de los adjetivos extraídos en el análisis de la primera parte, es el deslumbramiento y el no deslumbramiento. En este análisis se comprobó que la percepción visual de los participantes mejoraba con la TCC de 3000 K. El estudio reveló que a una temperatura de color de 4000 K la luz se percibía con mayor suavidad, en cambio, a 6500 K se observaba más intensa. También, con la TCC más baja se apreciaba una iluminación más cálida y como consecuencia, a 6500 K la TCC más fría. Los participantes observaron una iluminación más relajante con la TCC de 3000 K. Por último, la iluminación aportaba a los participantes una mayor energía con la TCC de 6500K.

En este estudio se llegó a la conclusión de que la clasificación previa realizada por los participantes se vio afectada por la temperatura de color correlacionada y por el nivel de iluminancia. Se comprobó que a medida que iba aumentando la TCC los participantes mejoraron su percepción visual a intensa, brillante y también energética.

### **3.2. PARÁMETROS A MEDIR**

En este apartado se estudia los procesos cognitivos en relación con el aprendizaje, la atención, la memoria, estado de alerta y cualquier parámetro analizado en los estudios seleccionados.

El estudio realizado por Chellappa et al. (Chellappa et al., 2011) se centró en analizar el estado de alerta y el rendimiento mediante una iluminación enriquecida con azules. Una adecuada exposición a la luz mejora estos parámetros de la iluminación

Durante 40 minutos, se midió la somnolencia mediante la Escala de Somnolencia de Karolinska y el estado de ánimo y alerta mediante las escalas analógicas visuales. También se utilizó la Tarea de Vigilancia Psicomotora para poder medir y estudiar la atención de los participantes, es decir, la falta de sueño. Consistía en que los participantes después de escuchar una reproducción de audio con una duración entre 3 y 7 segundos tenían que pulsar un botón lo más rápido posible.

Otra tarea que se les realizó a los participantes fue la tarea de "GO/NOGO" (Chellappa et al., 2011) que también medía la capacidad de atención, pero mediante un control más sostenido. Los participantes tenían que pulsar el espacio del teclado cada vez que aparecía la "M" en el monitor y tenían 0,5 segundos para pulsar.

Los resultados obtenidos mostraron que mientras la temperatura de color correlacionada iba disminuyendo, la somnolencia en los participantes fue aumentando progresivamente. También se observó una mejora en el bienestar de los usuarios con una exposición a la luz con temperaturas de color más elevadas. En cuanto al esfuerzo mental se mantuvo más o menos constante durante todas las sesiones y las distintas condiciones de luz.

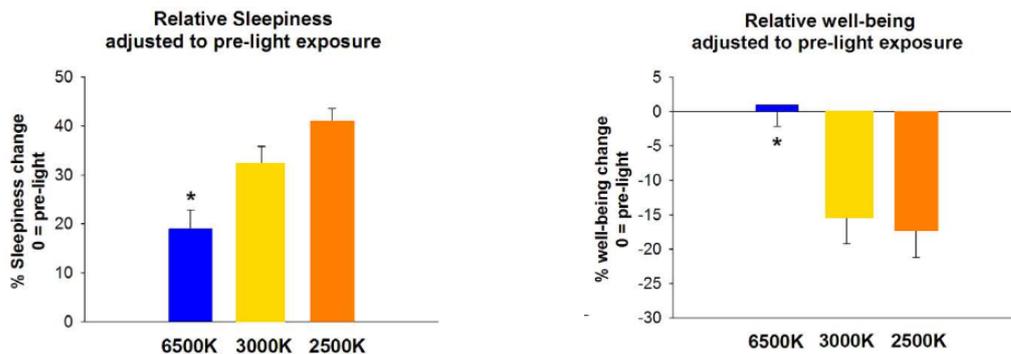


Figura 15. La somnolencia y el bienestar de los participantes expuestos a las temperaturas de color correlacionadas de 6500 K, 3000 K y 2500 K. Fuente: (Chellappa et al., 2011).

Smolders et al. (Smolders et al., 2012) analizaron el efecto de la iluminancia en el estado de alerta y el rendimiento. Estos efectos creados por la luz blanca durante la noche los resultados fueron notables, en cambio durante el día todavía no se habían realizado investigaciones profundas.

En este estudio como en el revisado anteriormente, el estado de alerta se midió con la Escala de Somnolencia de Karolinska. También se realizaron tres tareas para analizar el rendimiento de los participantes y mediante la Tarea de Vigilancia Psicomotora la atención sostenida.

Uno de los resultados fue que los participantes se encontraban más alerta y con mayor energía con una iluminancia de 1000 lx y más somnolientos con los 200 lx. Además, durante el experimento realizado por la mañana, las reacciones de los participantes eran más rápidas con la iluminación de 1000 lx.

Se contempló que el rendimiento mejoraba cuando se acercaba el final del ensayo. Aquellos participantes expuestos a 1000 lx iniciaban con resultados más bajos, en cambio, a lo largo del experimento obtenían mejores resultados que a 200 lx.

Si los participantes padecían fatiga con una intensa iluminación mejoraban considerablemente su rendimiento cognitivo. Por lo tanto, una luz intensa podía mejorar la sensación de cansancio y aumentaba la vitalidad de los participantes. Asimismo, las persona con somnolencia mejoraban el tiempo de reacción al realizar una tarea con una iluminación más intensa.

Como conclusión, los resultados que se obtuvieron en este estudio confirmaban lo obtenido en estudios anteriores. Como norma general, los participantes reaccionaban peor durante el experimento durante la mañana e iba mejorando a lo largo de la tarde.

En 2015 Huiberts et al.(Huiberts et al., 2015) investigaron sobre cómo la luz brillante afecta al rendimiento de trabajo. Se utilizaron tres tipos de tareas con distintas dificultades para medir el rendimiento de los participantes según el nivel de iluminación empleada.

En la primera tarea se les puso un audio en el que se escuchaban una serie de consonantes y se probó la velocidad de reacción para pulsar el espacio del teclado cuando la letra fuese la misma que la anterior. La segunda llamada Tarea de Dígitos Anteriores consistía almacenar y mantener la memoria de trabajo. Por último, la tercera tarea llamada Tarea de Dígitos posteriores, era igual que la anterior, pero con una mayor complejidad, es decir, que la

información que almacenaban los participantes a su vez se tenía que invertir en su memoria de trabajo.

El efecto que creó la iluminación en el rendimiento de los participantes fue mayor con una iluminancia de 1000 lx frente a la de 200 lx mientras realizaban la segunda tarea. En cambio, tanto en la primera tarea como en la tercera, no se observaron mejoras significativas con el nivel de iluminación de 1000 lx frente a los 200 lx durante la mañana y durante la tarde tuvieron más dificultades para realizar las tareas a 1000 lx.

En cuanto a la somnolencia se observó que era menor con mayor iluminancia durante la mañana. Por el contrario, durante la tarde no encontraron resultados significativos que probaran mejoras en el estado de sueño. Luego se midió la vitalidad, la tensión, y el estado de ánimo y se realizó mediante un método donde se combinaron la iluminación y los factores medidos, pero no se obtuvieron resultados significativos.

Wang et al. (Wang et al., 2017) realizaron un estudio sobre el efecto de la temperatura de color correlacionada sobre el confort y las preferencias de los participantes en el espacio de trabajo. Se consideró que el confort aparece cuando las condiciones de iluminación en el espacio son las idóneas y la preferencia viene por la respuesta de cómo los observadores perciben tanto la intensidad como el color de la iluminación.

Se tomó como referencia el gráfico de Kruithof para analizar el área de confort con la combinación de las distintas iluminancias y temperaturas de color correlacionadas. Esta es una gráfica que creó el ingeniero Kruithof que demostraba de forma científica la combinación de temperatura de color e iluminancia diferenciando los rangos de confort de los que no lo son. (Castilla Cabanes, 2015)

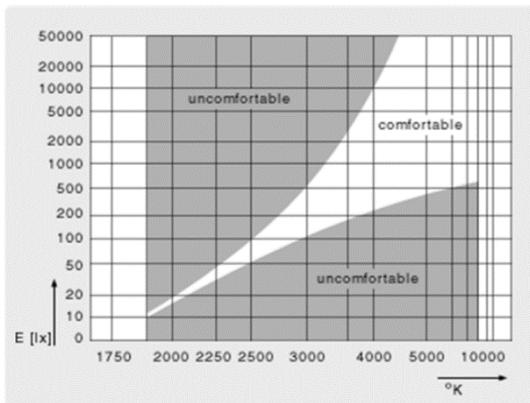


Figura 16. Gráfica de Kruithof. Fuente: (Castilla Cabanes, 2015).

En este estudio también se observó que para ninguno de los tres niveles de iluminancia utilizados aparecieron efectos significativos en el confort y preferencia de los participantes ya que no hubo diferencias en ninguna de las tres iluminancias. Esto quiere decir que los niveles de iluminancia que se utilizaron eran los recomendados por eso no se observó ningún efecto.

Los efectos que provocó la temperatura de color en el confort y las preferencias de los participantes fueron muy similares a los niveles recomendados. Esto se debía a que la iluminación blanca-azulada provocaba mayores efectos en el ritmo circadiano de los seres humanos para evitar la somnolencia y así obtener mejores resultados en el rendimiento.

En el estudio realizado por Smolders y de Kort (Smolders y de Kort, 2017) se analizaron los efectos de la temperatura correlacionada de color en el rendimiento, la fisiología y la experiencia de los participantes tanto por la mañana como por la tarde.

Se realizaron cuatro tareas distintas para medir los rasgos del rendimiento. La primera de ellas fue la Tarea de Vigilancia Psicomotora para poder medir la atención continuada. El rendimiento cognitivo se midió a través de las tres tareas restantes. En este análisis también se evaluó el estado de somnolencia mediante la escala de somnolencia de Karolinska, ya nombrada anteriormente.

A la somnolencia, la vitalidad y el autocontrol no les afectó la TCC, el momento del día o el tipo de tarea por separado, pero cuando se combinaron entre ellos sí que se observaron resultados significativos. Por ejemplo, cuando se juntaron la hora del día con la TCC tuvieron efectos en la vitalidad. Del mismo modo, cuando se combinaron la TCC y el tipo de tarea afectaron a la somnolencia.

Con la combinación de hora del día y TCC se obtuvo que durante la mañana mejoraba la vitalidad con la TCC elevada, en cambio durante la tarde no. Esta interacción no creó ningún efecto en la somnolencia de los participantes.

Cuando se estudió la combinación de TCC y el tipo de tarea, aumentó la somnolencia al cabo de 40 minutos con la TCC más elevada, pero después de 20 minutos no se observaron cambios. En cambio, esta interacción no mostró resultados en la vitalidad. En definitiva, los efectos de la TCC y sus combinaciones sobre el rendimiento cognitivo, la vitalidad, el estado de alerta y la somnolencia fueron muy variados.

El estudio de te Kulve et al. (te Kulve et al., 2018) se centró en analizar cómo afectan los distintos niveles de temperatura de color correlacionada al estado de alerta y a la temperatura corporal de los participantes.

La alerta se estudió mediante la somnolencia y la velocidad de reacción. La temperatura corporal se tomó en 26 partes distintas del cuerpo mediante los aparatos iButton. Por último, se midió el confort mediante la escala analógica visual.

Los resultados que se obtuvieron no fueron los esperados, ya que durante la mañana los participantes reaccionaron con mayor velocidad con la TCC más baja (2700 K) y esta no afectó a la somnolencia. También se observó que con una alta TCC (6500 K) aumentaba la temperatura corporal. Por ello, se contempló que los cambios en la temperatura corporal estaban relacionados con la somnolencia y la velocidad de reacción.

Choi et al. (Choi et al., 2019) estudiaron el tipo de iluminación en las aulas para mejorar el rendimiento de los participantes. Basándose en estudios anteriores, la luz blanca azulada ayuda al estado de alerta y además aumenta el rendimiento de los estudiantes durante las horas de clase, en cambio, la luz blanca cálida se relaciona con un ambiente más relajado. Se observó que el problema de muchas aulas era la falta de luz natural, esto provocaba desajustes en el reloj biológico, por lo tanto, aumentaba la somnolencia de los alumnos.

Después del experimento se obtuvo que disminuyó de manera significativa la somnolencia de los estudiantes que participaron con la luz blanca azulada (6500 K). Con esta temperatura de color también mejoró el estado de ánimo de estos y por su puesto su confort visual.

Se llegó a la conclusión de que la utilización de una temperatura de color correlacionada blanca azulada ayuda de forma relevante al estado de alerta, estado de ánimo y confort visual de los estudiantes. Por tanto, se dedujo que este tipo de iluminación era la más adecuada para un aula.

Yang et al. (Yang et al., 2019) estudiaron los niveles de iluminancia y temperatura de color para ayudar a controlar los niveles de melatonina en estudiantes con trastorno afectivo estacional (TAE).

Se observó que después de una semana con un elevado nivel de iluminancia (1000 lx - 3000 lx) los estudiantes con TAE podían llegar a suprimir el nivel de melatonina durante el día. El problema puede aparecer con una exposición prolongada a estos niveles de iluminación, ya que el nivel de melatonina puede volver a aumentar.

Aries et al. (Aries et al., 2020) analizaron el efecto de dos escenarios con iluminación variable en el estado de ánimo, el estado de alerta, el bienestar y el rendimiento de los participantes.

Se observó que con una mayor iluminación durante la mañana en el estudio que iba de alta a baja iluminación mejoraba el bienestar de los usuarios, pero por la tarde no se midió ninguna diferencia en este parámetro. Relacionado con el bienestar, se contempló que la satisfacción de los participantes por la mañana en el estudio de alta a baja iluminación mejoraba considerablemente y empeoraba por la tarde, por el contrario, en el otro experimento (de baja a alta iluminación) no se observó ningún cambio. En cuanto a la somnolencia, solo se percibieron variaciones en el estudio de laboratorio, donde esta disminuía durante la tarde en el estudio de alta a baja iluminación, es decir, que la somnolencia era menor con niveles más bajos de iluminancia. En definitiva, no se apreciaron efectos significativos en ninguno de los parámetros relacionados con el bienestar.

En este estudio no se pudieron sacar resultados evidentes. Esto se produjo porque entre el estudio de laboratorio y de campo presentaron resultados totalmente distintos para una misma tarea, además de dispares con estudios realizados anteriormente.

Numerosos estudios llegaron a la conclusión de que el estado de ánimo, la eficiencia, la somnolencia, la vigilancia y el rendimiento mejoran con una condición de iluminación adecuada en el espacio de trabajo (Hsieh et al., 2020).

En el estudio realizado por Hsieh et al. (Hsieh et al., 2020) se investigó sobre la influencia de la combinación de la temperatura de color correlacionada y la iluminancia en la percepción visual de los participantes a través de una selección de adjetivos que califican la iluminación.

Se observó que a medida que iba aumentando la temperatura de color, mejoraba el estado de somnolencia, la intensidad y la energía de los participantes. Es decir, que la combinación de TCC e iluminancia crean un efecto significativo en la percepción visual de los observadores. Pero en relación con otros estudios realizados, no se obtuvieron resultados concluyentes.

Existen estudios sobre cómo afecta la iluminación ambiental al comportamiento social entre los seres humanos. Uno de ellos fue el realizado por Esteky et al. (Esteky et al., 2020) donde se realizaron tres ensayos para investigar este comportamiento centrándose en la capacidad de donación y voluntariado de los participantes.

En el primer ensayo se obtuvo que la iluminación en vez de afectar directamente a la conducta de los participantes interactuaba con ella. Las condiciones de iluminación creaban un efecto en el valor de la donación, pero no en la probabilidad de que los espectadores hagan una donación. En cambio, en el segundo ensayo que era una ampliación del primero, se observó una mejora en la capacidad de socializar con una mayor iluminancia para aquellos participantes más dependientes y al revés con los dependientes. Por último, en el tercer ensayo se comprobó que con el aumento de los niveles de iluminación mejoraba la voluntad de ayudar de los participantes.

Después de que realizaran este estudio llegaron a la conclusión de que no encontraron evidencias que corroboraran la interacción de la iluminación ambiente y el comportamiento social de los participantes.

Lee y kim (Lee y Kim, 2020) analizaron cómo la iluminación LED puede afectar a la memoria a largo plazo y a la atención. Este estudio se ejecutó para completar otros estudios realizados anteriormente con falta de información.

Para medir la atención utilizaron una tarea diseñada por los investigadores, que trataba de seleccionar unas teclas que iban relacionadas con 10 tipos de símbolos. Por otra parte, se midió la memoria a largo plazo mediante una tarea que consistía en memorizar los fragmentos finales de ciertas palabras y el tiempo de aprendizaje de estas fue de 24 horas.



Figura 17. Máquina para medir la atención. Fuente: (Lee y Kim, 2020).

Se demostró que la atención mejoraba con el nivel de iluminancia de 1000 lx que mostraba grandes diferencias con el nivel de iluminación de 300 lx. En cambio, la memoria a largo plazo aumentaba con la iluminancia media de 400 lx. En definitiva, el nivel de iluminación de 300 lx no favoreció a ninguno de los dos parámetros utilizados.

### **3.3. LA MUESTRA**

La muestra juega un papel muy importante en el análisis de la influencia de la iluminación. Los estudios revisados se centraban en adultos, y en concreto en estudiantes universitarios. Otros aspectos relevantes de la muestra son el sexo, la salud de los mismos, el estado anímico, etc.

A continuación, se muestra una tabla resumen de las características de las muestras seleccionadas por los autores de los análisis revisados en este trabajo.

AUTORES	LA MUESTRA	SITUACIÓN Y DURACIÓN
<p><b>S. Chellappa, R. Steiner, P. Blattner, P. Oelhafen, T. Götz y C. Cajochen, 2011.</b></p> <p>Los participantes se expusieron a tres tipos de iluminación.</p>	<p>n= 16 (V) Edad= 20-28 años (24,3 ± 2,1 SD) No fumadores, sin enfermedades, sin trastornos psiquiátricos y de sueño, además presentaron su historial médico.</p>	<p>Europa, Suiza. Estudio dividido en tres partes con una semana de separación entre ellas. Hora de comienzo: 18:00 (10 horas después de levantarse) Hora de terminación: 8:00 (hora de levantarse) Partes del experimento: 1,5 h – poca luz 2 h – adaptación oscuridad 2 h – exposición a la luz 1 h – luz tenue 8 h – sueño</p>
<p><b>M.L. Hidayetoglu, K. Yildirim y A. Akalin, 2012.</b></p> <p>Mostraron imágenes virtuales con diferentes condiciones de iluminación.</p>	<p>n= 120 estudiantes universitarios de Diseño de Interior y Arte; (60 M, 60 V); 1º curso= 24,5% 2º curso= 25,5% 3º curso= 24,5% 4º curso= 25,5% Edad= 19 – 25 años</p>	<p>Asia, Turquía, Konya. Dos sesiones; Periodo: 2 meses. 25 minutos cada una en días laborables.</p>
<p><b>K.C.H.J. Smolders, Y.A.W. de Kort y P.J.M. Cluitmans, 2012.</b></p> <p>El estudio se realizó en una habitación simulando una oficina sin iluminación natural. Se desarrollaron cinco bloques experimentales.</p>	<p>n= 32 estudiantes; 19 V y 13 M; Edad= 18 – 35 años (22, SD= 4.0). <u>200 lx:</u> Por la mañana n= 32 (12 V y 10 M); Por la tarde n= 19 (10 V y 9 M). <u>1000 lx:</u> Por la mañana n=23 (13 V y 10 M); Por la tarde n= 19 (12 V y 7 M).</p>	<p>Europa, los Países Bajos, Eindhoven. Fase inicial: 30 minutos; Fase experimental: 60 minutos dividida en 4 bloques: 15 minutos cada uno; Sesiones de mañana: 9:00 a 10:00 Sesiones de tarde: 13:00 a 15:00</p>
<p><b>L.M. Huiberts, K.H.J. Smolders y Y.A.W. de Kort, 2015.</b></p> <p>Cada participante se sometió a dos sesiones distintas en el laboratorio en días separados.</p>	<p>n= 64 (32 V y 32 M). Edad= 18 – 30 años (21,4; SD= 2,1). <u>1º exposición 1000 lx:</u> n= 33. <u>1º exposición 200 lx:</u> n= 31.</p>	<p>Europa, los Países Bajos, Eindhoven. Dos sesiones con dos días mínimo de separación entre ellas. Como media se separaron 8 días las sesiones. Fase inicial: 15 minutos Fase experimental: 60 minutos (4 bloques de 15 minutos cada uno) <u>Horarios:</u> Sesiones de mañana: 9:00; 10:45 Sesiones de tarde: 12:15; 13:45; 15:45</p>

<p><b>Q. Wang, H. Xu, F. Zhang, Z. Wang, 2017.</b> Se realizó en dos escenarios, uno de relajación y otro como espacio de trabajo.</p>	<p>n= 12 (6 V y 6 M) estudiantes; Edad= 21 – 35 años; Todos los participantes mostraban una visión normal.</p>	<p>Asia, China, Hangzhou. Periodo: 1 día. 6 sesiones: 30 minutos cada una; 3 minutos antes de adaptación a la oscuridad y 1 minuto de adaptación a la luz. Luego de la sesión 1 minuto más de oscuridad.</p>
<p><b>K.C.H.J. Smolders y Y.A.W. de Kort, 2017.</b> 73 sesiones en un laboratorio sin iluminación natural.</p>	<p>n= 39 estudiantes (27 V y 12 M) Edad= 19 – 38 años (23, SD= 3,9) Todos los participantes con un buen estado de salud.</p>	<p>Europa, los Países Bajos, Eindhoven. Periodo: 2 sesiones en dos días separados por participante. 90 minutos aproximadamente por sesión; Por la mañana: 9:00 a 11:00 Por la tarde: 13:00 a 15:00</p>
<p><b>M. te Kulve, L. Schlangen, J.L. Souman y W. van Marken Lichtenbelt, 2018.</b> Cada participante realizó dos sesiones en un laboratorio.</p>	<p>n= 16 mujeres, estudiantes. Edad= 18 – 30 años (22,2 ± 2,37 SD). IMC= 18 – 25 kg/m<sup>2</sup> Horas de sueño= 3,5 – 5 h (4:10 ± 34 SD). Tomaban anticonceptivos y no sufrían ninguna patología.</p>	<p>Europa, los Países Bajos, Maastricht. Periodo: 5 meses (desde agosto de 2015 hasta enero de 2016). Dos sesiones con una separación mínima entre ellas de 1 semana y máxima de 3 semanas. Fase inicial: 45 minutos (7:45). Fase experimental: tres bloques de 75 minutos cada uno.</p>
<p><b>C. Yang, P. Yang, S. Liang y T. Wang, 2019.</b> El total de 10 grupos de participantes realizaron el estudio en un laboratorio simulando un aula en lugares con pocas horas de luz natural.</p>	<p>n= 80 <u>Estudiantes con TAE:</u> n= 64 (32 V y 32 M); Edad= 18 – 25 años (21,52 ± 1,56); Se dividieron en 8 grupos de 8 participantes. Estudiantes sin TAE: N= 16 (8 V y 8 M); Edad= 18 – 25 años (21,63 ± 1,32); Se dividieron en dos grupos de 8 participantes cada uno.</p>	<p>Asia, China, Chongqing. Periodo: 15 días (1 de diciembre de 2018); Después de una semana de exposición se realizó un control, y otro a los 15 días. Sesión: la exposición a la luz se realizó durante las 8 horas de clase.</p>

<p><b>K.Choi, C. Shin, T. Kim, H.J. Chung y H.J. Suk, 2019.</b> Se estudió en una sala que simulaba un aula, se utilizaron colores neutros y se realizó en 3 sesiones.</p>	<p>n= 15 estudiantes universitarios (8 V y 7 M); Edad= 23,53 ± 0,87 SD. Hora de acostarse= 23:00 – 24:00; Hora de levantarse= 7:00 – 8:00 Se dividieron en 3 grupos de 5 participantes.</p>	<p>Asia, Corea del Sur, Daedeok. Periodo: de diciembre a enero (invierno). 3 sesiones con una separación de 3 días entre ellas. 2 horas por sesión.</p>
<p><b>C.W. Lee y J.H. Kim, 2020.</b></p>	<p>n= 18 estudiantes universitarios (5 V y 13 M); Edad= 23,3 ± 1,14</p>	<p>Asia, Corea del Sur, Gongju. Periodo: 24 horas. Previo al estudio: 2 minutos de luz y oscuridad. Tarea de memoria: 10 minutos. Tarea de atención: 10 minutos. 24 horas después se midió la memoria a largo plazo</p>
<p><b>S. Esteky, D.B. Wooten y M.W. Bos, 2020.</b> Se realizaron 3 ensayos: En el primero se compararon dos salas con condiciones muy similares. El segundo, se realizó en dos auditorios idénticos. El tercero, se hizo en una clase simulando un auditorio.</p>	<p><b>Ensayo 1:</b> n= 155 <u>Stuttgart:</u> n= 75 (53,33% M; 78,66% caucásica, 5,33% asiática, 12% oriente medio, 2,66% africana, 1,33% otra raza) Edad= 33,32. <u>Toronto:</u> n= 80 (51,25% M; 35% caucásica, 43,75% asiática, 16.25% oriente medio, 1,25% africana, 3,75% otra raza) Edad= 30,91. <b>Ensayo 2:</b> n= 161 4 grupos: (n= 42, 40, 42, 37) <b>Ensayo 3:</b> n= 256 (179 V y 77 M); 2 grupos: n= 127 y 129).</p>	<p><b>Ensayo 1:</b> Europa, Alemania, Stuttgart. América, Canadá, Toronto. Sesiones: 9:00 a 12:00 <b>Ensayo 2:</b> América, Estados Unidos, Illinois. Sesiones: 20 minutos. <b>Ensayo 3:</b> América, Estados Unidos, Illinois. Un mes de separación entre sesiones. Sesiones: 20 minutos.</p>

<p><b>M. Hsieh, L. Hong, E.M. Wang, W. Chao, C. Yang y L. Su, 2020.</b> El experimento realizó todas sus fases en la misma aula.</p>	<p><u>Fase 1:</u> n= 30 17 V Edad= 21 – 52 años (28,8 ± 11,1 SD); 13 M Edad= 18 – 56 años (33,3 ± 11,1 SD). <u>Fase 2:</u> n= 40 4 grupos: n= 10 (5 V y 5 M); Divididos por edades: 20, 30, 40, 50 – 65 años.</p>	<p>Asia, Taiwan, Hsinchu. Sesiones: 1 hora; Dos sesiones en dos días consecutivos durante horas similares.</p>
<p><b>M.B.C. Aries, F. Beute y G. Fischl, 2020.</b> Se realizaron dos estudios, uno en una oficina real, y el otro, en un laboratorio simulando un espacio de trabajo. Ambos con contribución de luz natural.</p>	<p><u>Laboratorio:</u> n= 20 (14 M y 6 V); Edad= 24,6 ± 3,8 SD años. <u>Campo:</u> n= (5 M y 16 V); Edad= 40,4 ± 9,9 SD años.</p>	<p>Europa, Suecia, Jönköping. Periodo: de enero a marzo de 2018. <u>Laboratorio:</u> Horario: 8:00 a 16:30, dos lunes consecutivos (26 de febrero y 5 de marzo). <u>Campo:</u> Cuestionarios cada hora durante el horario de trabajo. 3 días consecutivos (de martes a jueves) durante 6 semanas.</p>

Tabla 1. Características de la muestra utilizada en los estudios.

### **3.4. MÉTODOS PARA RECOGER LA RESPUESTA DEL SUJETO**

Otras cuestiones importantes para analizar la influencia de la iluminación en los sujetos son ¿dónde? y ¿cómo? Las respuestas pueden variar según se realice en un laboratorio, en el espacio físico o si es a través de imágenes virtuales. Además, para obtener los resultados influye el tipo de respuesta de los sujetos, si los estudiantes realizaban una autoevaluación del estudio o se medían sus respuestas fisiológicas. En este apartado se analizará el lugar donde se llevaron a cabo los estudios revisados y qué tipo de respuestas se medían en cada uno de ellos.

#### **3.4.1. ESPACIO DE DESARROLLO DE LAS INVESTIGACIONES**

El espacio de desarrollo de las investigaciones depende de lo que quieran medir, es decir, si lo que se quiere medir es el efecto de la iluminación sobre los estudiantes, se realizará en el espacio físico de trabajo, en cambio, si lo que se busca es el efecto de un estímulo en concreto del tipo de iluminación, entonces se ejecutará en un laboratorio o mediante imágenes virtuales.

El estudio de Smolders et al. (Smolders et al., 2012) se realizó en una sala que simulaba un ambiente de oficina para analizar en concreto la adecuada iluminancia de las fuentes de luz para aumentar el estado de alerta, vitalidad y rendimiento de los participantes. Como se hizo en una sala simulada, se tuvo en cuenta detalles como la cantidad de mobiliario, el color y la reflectancia de las paredes (blancas), el tipo de suelo (gris-azul), etc.

Se evaluó en el Modelo Mixto Lineal (MML) el efecto del nivel de iluminación en el entorno, pero no se obtuvieron resultados significantes que corroborasen el efecto del entorno en el rendimiento de trabajo.

Huiberts et al. (Huiberts et al., 2015) también realizó su estudio en un laboratorio que simulaba el entorno de oficinas de trabajo en la Universidad Tecnológica de Eindhoven. Se crearon cuatro ambientes de trabajo que los separaron mediante cortinas y eran prácticamente idénticos con diferencias mínimas en las condiciones de iluminación. Las ventanas se taparon con pantallas blancas para evitar que interfiriese la iluminación natural en el experimento, ya que se buscaba en concreto el efecto de la iluminancia en los participantes.

Cada ambiente de trabajo estaba formado por sillas rojas y escritorios gris claro sobre los que se colocó un portátil para realizar las tareas. A los participantes se les distribuyó de manera que estuviesen de espaldas a las cortinas para evitar distracciones. Las paredes del laboratorio estaban pintadas de blanco y el suelo azul-grisáceo. Se tuvieron en cuenta las reflectancias de los elementos que componían la sala.

La investigación que llevó a cabo Smolders y de Kort (Smolders y de Kort, 2017) se desarrolló en un laboratorio con dos salas separadas por una cortina que reproducían dos ambientes de oficina iguales. Estaban compuestas por paredes blancas, con un suelo gris oscuro y los escritorios también grises. Se controlaron las reflectancias de los elementos que componían la sala. Las ventanas estaban tapadas con una persiana exterior y un estor interior para evitar que la luz del día afectara en el experimento. En los resultados de este análisis no se mostraron evidencias de que la oficina simulada influyera en los participantes.

Wang et al. (Wang et al., 2017) quisieron comparar dos espacios simulados: un espacio de relajación y otro espacio de trabajo. Buscó las preferencias de los participantes por un espacio o por otro y el tipo de TCC para dichos espacios. Tanto en este estudio como en otros anteriores, se observó que la preferencia por una TCC específica también dependía del espacio donde se observara.

Otro estudio que se ejecutó en el laboratorio fue el de te Kulve et al. (te Kulve et al., 2018) donde entraban uno por uno y se sometían a dos sesiones en el laboratorio cada participante. El participante al llegar a la sala se le acostaba en una camilla reclinada y se quedaban en ropa interior. En este estudio no simuló ningún espacio de trabajo ya que consistía en medir la temperatura corporal de los asistentes según la temperatura de color correlacionada utilizada.

Como en el estudio de Yang et al. (Yang et al., 2019) se centraron en investigar las condiciones de iluminación que pudieran reducir el TAE que sufren algunos estudiantes en países con poca luz natural, simularon una clase de universidad. De esta manera, los resultados que se obtuvieron eran de mayor utilidad ya que es el espacio real de trabajo de los estudiantes.

Choi et al. (Choi et al., 2019) quisieron medir los niveles de melatonina de los estudiantes durante las horas de clase por la mañana. Por eso, se simuló una clase con colores y objetos muy neutros donde se aplicaron las distintas condiciones de luz. Esta era una manera muy realista para analizar el rendimiento de los participantes.

El experimento llevado a cabo por Hsieh et al. (Hsieh et al., 2020) se realizó en una habitación con las paredes blancas y una con un papel de flores y para evitar que los muebles influyeran en el estudio, solo había una silla para que el participante se sentase. Además, las ventanas que había en la habitación las cubrieron para que la luz natural no distorsionase los resultados. De esta manera, los participantes veían una habitación vacía y no una simulación de oficina.

Esteky et al. (Esteky et al., 2020) desarrollaron un estudio que consistía en 3 experimentos. El primero se realizó en dos auditorios en la universidad, uno en Toronto y otro en Stuttgart, que eran muy similares. Se realizaron en un auditorio ya que era un lugar habitual para los estudiantes donde aparecen muchas variaciones de iluminación. El segundo, fue en dos grandes auditorios idénticos en la universidad acabados con tonos neutros y mate. Se eligió un auditorio por la misma razón que el experimento anterior. Por último, el tercer experimento también se realizó en un gran auditorio en la universidad del mismo modo que los anteriores.

La investigación de Lee y Kim (Lee y Kim, 2020) tuvo lugar en un laboratorio que estaba formado por una sala de espera y la sala experimental que estaba compartimentada en varios espacios para poder realizar cada fase del experimento. Para que la iluminación de las otras tareas no interfiriese, se colocaron unas cortinas que bloqueaban la luz. Además, se tuvo en cuenta la temperatura ambiente y la humedad del espacio.

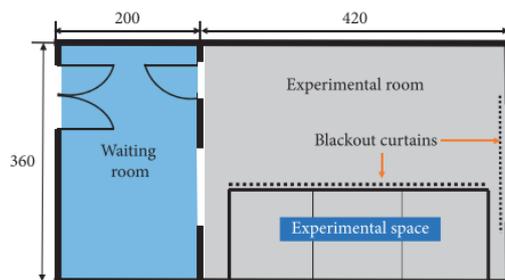


Figura 18. Distribución del laboratorio donde tuvo lugar el experimento. Fuente: (Lee y Kim, 2020).

Aries et al. (Aries et al., 2020) compararon las mismas condiciones de iluminación en un laboratorio que simulaba un espacio abierto de trabajo y en unas oficinas reales en una planta abierta donde los puestos de trabajo estaban separados por mamparas. Ambas salas tenían contribución de luz natural.

Numerosos estudios de laboratorio utilizan niveles de iluminación muy extremos y el lugar donde se realizan las tareas normalmente es sin distracciones. En cambio, en el espacio de trabajo real aparecen numerosas distracciones además de aparecer variaciones en las condiciones de iluminación. Por ello, no se puede trasladar directamente los resultados de un estudio de laboratorio a un ambiente de trabajo real (Aries et al., 2020).

En cuanto a la realidad virtual, según Osmann (2002) existen numerosas ventajas de emplear estos sistemas para analizar la influencia de la iluminación de los espacios, ya que el colocar todos los elementos requeridos y moverlos es mucho más sencillo, además de emplear poco tiempo y mucho más económico que recrear un espacio real. También, en estudios donde se utilizó la realidad virtual se comprobó que las diferencias entre estos sistemas y en un espacio físico eran inapreciables (Hidayetoglu et al., 2012).

El estudio que realizó Hidayateglu et al. (Hidayetoglu et al., 2012) se modelizó en 3D Max un edificio real (la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Selcuk) y se realizó un video del que se obtuvieron 7 imágenes de los distintos espacios a analizar con distintas condiciones de iluminación.

### 3.4.2. RESPUESTAS MEDIDAS EN EL ESTUDIO

Las respuestas de los individuos para un estudio son difíciles de recoger ya que influyen muchos aspectos subjetivos tanto del entorno como del estado de ánimo del individuo en el momento de realizar el cuestionario.

Para Fernández-Ballesteros (Fernández-Ballesteros, 1980) una de las clasificaciones que se pueden hacer para medir las respuestas en el estudio son: directa e indirectas. Las respuestas directas son las que provienen del autoinforme que realizan los sujetos después de que les hagan una serie de preguntas, es decir, responden con su propia experiencia. En cambio, en las respuestas indirectas se miden los efectos en la fisiología del individuo. A partir de la autoevaluación, se pueden recibir los siguientes tipos de respuesta:

**Respuestas abiertas:** son aquellas que permiten al individuo responder aquello que desee sin estar condicionado por respuestas cerradas. Estas respuestas son más difíciles de clasificar ya que existen numerosas respuestas.

**Respuestas cerradas:** en estas el individuo elige una de las respuestas que ya vienen preestablecidas. Son las más comunes de utilizar en los estudios porque resultan más fáciles de clasificar y poder obtener resultados claros. Hay muchos tipos de respuestas cerradas, la más común es la escala semántica diferencial. Consiste en coger dos términos opuestos como, por ejemplo, “frío – cálido” y se califica o mediante una escala subjetiva numérica (preferentemente con números impares para que haya un término medio) o la combinación de escala numérica y verbal.

A continuación, se muestra una tabla resumen de las distintas respuestas recogidas por los autores de los análisis revisados en este trabajo.

AUTORES	TIPO DE CUESTIONARIO	RESPUESTA	PREGUNTA
<b>S.L. Chellappa, R. Steiner, P. Blattner, P. Oelhafen, T. Götz y C. Cajochen, 2011.</b>	<u>Valoración subjetiva del estado de alerta, confort visual y bienestar:</u> - Escala de esfuerzo mental - Escala de confort visual - Escala analógica visual En los cuestionarios se hicieron preguntas sobre el deslumbramiento y la intensidad como: “¿La luz deslumbraba más o menos?”, “¿La luz es demasiado oscura o brillante?”, etc. Se realizó antes de la tarea cognitiva.	Cerrada	Autoevaluación

M. Hidayetoglu, K. Yildirim y A. Akalin, 2012.	<u>1ª Sesión:</u> Se utilizaron pares de adjetivos opuestos para evaluar las imágenes: claro/borroso, atractivo/poco atractivo, agradable/desagradable.	Cerrada	Autoevaluación
	<u>2ª Sesión:</u> Se hizo un cuestionario preguntando sobre que imagen (cada una con unas condiciones de iluminación) recuerdan mejor.	Abierta	
K. Smolders, Y. de Kort y P. Cluitmans, 2012.	<u>Inicio de cada sesión:</u> cuestionario a los participantes sobre la hora que se levantan, las horas que han dormido, el tiempo que pasaban fuera, etc.	Abierta	Autoevaluación
	<u>Evaluación de la sensibilidad a la luz:</u> Se realizaron preguntas a los participantes como, por ejemplo: “¿Cuánto dolor de cabeza sufres cuando te expones a una luz brillante?” <u>Evaluación del estado de alerta y de ánimo:</u> - Escala de somnolencia de Karolinska: escala numérica de 1 al 9 de extremadamente alerta a extremadamente dormido. - Escala del estado de ánimo: escala numérica del 1 al 4 de feliz a triste.	Cerrada	
	<u>Evaluación fisiológica:</u> Se midió el ritmo cardíaco de los participantes durante 5 minutos en las tareas de vigilancia psicomotora	-	Fisiológica
L. Huiberts, K. Smolders y Y. de Kort, 2015.	<u>Antes del estudio:</u> contestaron a un cuestionario online sobre la sensibilidad a la luz de los participantes. <u>Final de cada sesión:</u> a los participantes se les hizo preguntas sobre las horas que habían dormido, el tiempo fuera de casa, si habían viajado antes del experimento, si consumían cafeína, etc.	Abierta	Autoevaluación
	<u>Evaluación rendimiento subjetivo:</u> A través una escala analógica visual de 0 a 100, de nada a mucho, evaluaban su concentración para realizar la tarea, su motivación y su esfuerzo. <u>Evaluación de la somnolencia:</u> Se media al terminar cada tarea mediante la escala de somnolencia de Karolinska (del 1 al 9). <u>Evaluación del estado de ánimo:</u> Con la escala de Likert que se comparaba de feliz a triste mediante un rango del 1 al 5. <u>Evaluación de la iluminación:</u> Se midió mediante 6 términos como, por ejemplo: “incómodo/cómodo” o “desagradable/agradable” con una escala de Likert que iba de 1 al 5.	Cerrada	

<p><b>Q. Wang, H. Xu, F. Zhang y Z. Wang, 2017.</b></p>	<p>Se preguntó a los participantes sobre su percepción del confort y sus preferencias sobre las condiciones de luz, en concreto la intensidad y temperatura de color. Se hicieron preguntas con respuestas de “Sí” o “No”.</p>	<p>Cerrada</p>	<p>Autoevaluación</p>
<p><b>K. Smolders y Y. de Kort, 2017.</b></p>	<p><u>Antes de la sesión:</u> cuestionario online sobre las características de cada individuo que participó. <u>Inicio de cada sesión:</u> cuestionario sobre las horas que habían dormido, el tiempo fuera de casa, si habían viajado antes del experimento, si consumían cafeína, etc.</p> <p><u>Evaluación de la somnolencia, vitalidad, estado de ánimo y autocontrol:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Escala de somnolencia de Karolinska.</li> <li>- Selección de 8 términos para describir la vitalidad y el estado de ánimo puntuándose con un rango del 1 (definitivamente no) al 4 (definitivamente sí).</li> <li>- Escala de capacidad de autocontrol compuesta por 25 términos que se puntúan del 1 al 7 que va desde poco cierto a absolutamente cierto.</li> </ul> <p><u>Evaluación de las condiciones de iluminación:</u> Se valoraron 8 términos como cómodo/incómodo del 1 al 5.</p> <p><u>Evaluación del entorno:</u> Midieron el nivel de comodidad en el lugar con una escala que iba del 1 (“no del todo”) al 7 (“extremadamente”).</p> <p><u>Evaluación fisiológica:</u> Se midió el ritmo cardíaco de los participantes y su variación a lo largo del ensayo.</p>	<p>Abierta</p> <p>Cerrada</p>	<p>Autoevaluación</p> <p>Fisiológica</p>
<p><b>M. te Kulve, L. Schlangen, L. Schellen, J.L. Souman y W. van Marken Lichtenbelt, 2018.</b></p>	<p><u>Evaluación estado de alerta:</u> Mediante la escala de somnolencia de Karolinska.</p> <p><u>Evaluación de la percepción de confort:</u> Se utilizó la escala análoga visual a través de varios términos como, por ejemplo: muy incómodo/muy cómodo mediante un rango del 1 al 9.</p> <p><u>Evaluación de fisiológica:</u> Para medir la temperatura corporal los participantes utilizaron una píldora de temperatura tomada el día anterior del estudio. El ritmo cardíaco se midió a lo largo del estudio.</p> <p><u>Evaluación de energía consumida:</u> Utilizaron un analizador de gases para que midiese la inhalación de oxígeno y la exhalación de dióxido de carbono.</p>	<p>Abierta</p> <p>-</p>	<p>Autoevaluación</p> <p>Fisiológica</p>

K. Choi, C. Shin, T. Kim, H.J. Chung y H. Suk, 2019.	<u>Evaluación nivel de melatonina y cortisol:</u> Se tomó una muestra de salvia antes y después del experimento para analizar los niveles de melatonina.	,	Fisiológica
	<u>Evaluación subjetiva de la somnolencia, estado de ánimo y confort visual (después del estudio):</u> - Escala de somnolencia de Karolinska. - Escala analógica visual para el confort visual que iba de 0 (peor puntuación) a 100 (mejor puntuación). También marcaron de 0 a 100 la percepción que tenían justo en ese momento.	Cerrada	Autoevaluación
C. Lee y J. Kim, 2020	<u>Tarea para medir la atención:</u> 10 teclas estaban relacionadas con 10 símbolos y se medía la velocidad de reacción en apretar la tecla relacionada con el símbolo que aparecía en pantalla. <u>Tarea para medir la memoria a largo plazo:</u> Consistía en memorizar varios grupos de palabras y después de 24 horas tenían que completarlas.	,	Fisiológicas
S. Esteky, D. B. Wooten y M.W. Bos, 2020.	<u>Estudio 1:</u> Se realizó una tarea donde tenían que construir frases eligiendo o una primera persona singular o plural. De esta manera se comprobaría la personalidad individualista o colectivista de los participantes. <u>Estudio 2:</u> Se desarrolló una tarea para diferenciar los participantes dependientes de los independientes. Tenían 5 minutos para escribir sobre una de estas dos frases: “ <i>Recuerda, disfrutar de tu vida es de lo que realmente se trata</i> ” para los independientes o “ <i>Recuerda, disfrutar de las relaciones con tu familia o amigos es de lo que realmente se trata</i> ” para los dependientes. <u>Estudio 3:</u> Primero realizaron la tarea de la escala de concienciación. Se dijo a los participantes que buscaban voluntarios para codificar los datos obtenidos. De esta manera medirían la capacidad de querer ayudar de los participantes.	,	Fisiológica
M. Hsieh, L. Hong, E.M. Wang, W. Chao, C. Yang y L. Su, 2020	<u>Fase 1:</u> Obtención de pares de adjetivos (positivo y negativo) como, por ejemplo: “frío/cálido”. <u>Fase 2:</u> Se hicieron unos cuestionarios para obtener la percepción visual de los participantes. La escala iba de -3 a +3 sin contar el 0, ya que los puntos negativos representaban sentimientos negativos y los positivos sentimientos positivos.	Cerrada	Autoevaluación

<b>M.B.C. Aries, F. Beute y G. Fischl, 2020.</b>	Todos los cuestionarios se realizaron online y en inglés. <u>Cuestionario 1:</u> preguntas sobre aspectos personales y laborales de los participantes. <u>Cuestionario 2:</u> preguntas frecuentes durante la exposición sobre el bienestar de los individuos.	Abierta	Autoevaluación
	<u>Cuestionario 3:</u> terminado el experimento, los participantes rellenaron otro cuestionario de respuesta a la exposición experimentada. - Se realizó mediante escala sobre el bienestar (la somnolencia, el agrado y la satisfacción) y el rendimiento y tiempo de reacción.	Cerrada	

Tabla 2. Respuestas de los sujetos medidas en los estudios.

### **3.5. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

A continuación, se muestra una tabla resumen de los resultados obtenidos de la revisión de los artículos.

Autores	Condición lumínica	Exposición a la luz	Muestra	Parámetros de rendimiento				Nivel de melatonina
				E. de alerta	Confort	Función ejecutiva	Atención	
Chellapa et al., 2011	6500K vs. 3000K vs. 2500 K	18:00 h a 8:00 h	16	+	+	ns	+	+
Smolders et al., 2012	1000lx vs. 200lx (90min)	Mañana (9:00h) Tarde (13:00h)	32	+		+	+	
Hidayetoglu et al., 2012	2700K vs. 4000K vs. 5300K (25 min.)	Medio día	102		+			
Huiberts et al., 2015	1000lx vs. 200lx (60 min. Nivel de los ojos)	Mañana (9:00; 10:45) Tarde (12:15; 13:45; 15:45)	64	+		+	ns	
Wang et al., 2017	12 TCC (2000K, 2500K, 3000K... 100000K) (350lx, 500lx, 1000lx) (30min.)		12		+			
Smolders et al., 2017	6000K vs. 2700K (60 min.)	Mañana (9:00 o 11:00) vs. Tarde (13:00 o 15:00)	39	ns		ns	ns	
te Kulve et al., 2018	6500K vs. 2700K (55lx) (75min.)	Mañana	16	-	+			ns
Choi et al., 2019	6500K vs. 3500K (500lx) (120min.)	Mañana (9:00h)	15	+	+			+
Yang et al., 2019	3000lx vs. 2000lx vs. 1000lx (4000K, 5000K) 8 h	Horario de clase	80					+

Aries et al., 2020	870lx, 690lx, 500 lx, 238lx, 185lx (4000K)	Horario laboral (8:00 a 16:30)	20 y 21	ns	ns			
Hsieh et al., 2020	3000K - 6500K; 300lx – 900lx (60min.)		30,40	+	+			
Esteky et al., 2020	1000lx vs. 200lx (20min.)	Mañana 9:00h – 12:00h	75, 80, 161, 256			+	+	
Lee et al., 2020	300lx, 400lx, 500lx y 1000lx (20min.)		18			-	+	

Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos en los estudios.

## CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES

---

### 4.1. CONCLUSIONES DE LA REVISIÓN

Respecto a las conclusiones del estado de la cuestión, se constata que unas adecuadas condiciones de iluminación, ya sea natural, artificial o la combinación de ambas, tienen numerosos beneficios en la salud y bienestar de los seres humanos. Además, en los espacios docentes puede ayudar a mejorar el aprendizaje de los estudiantes. Por lo tanto, como perciben los estudiantes la luz es un aspecto muy importante a tener en cuenta.

Las investigaciones en este sentido juegan un papel muy importante para el diseño de la iluminación, así que, tanto ingenieros como arquitectos y diseñadores deben tenerlas en cuenta.

Respecto a la revisión realizada, una de las principales conclusiones que se desprende de la misma es que se constata que existe una gran divergencia en cuanto a los resultados que se obtienen en los diferentes estudios, puesto que existen muchas variables y distintos parámetros a medir. Una de las más representativas es la contribución de luz natural. En muchos estudios, como es el caso de Huiberts et al. (Huiberts et al., 2015) o de Hsieh et al. (Hsieh et al., 2020) se cubrieron las ventanas para evitar que la luz natural interfiriese en el estudio. Según de Kort (de Kort, 2019) si se quiere extrapolar los resultados de un estudio y aplicarlos en otros o generalizarlos, pueden surgir muchos problemas, de hecho, lo importante de estos estudios es comprender la influencia de la luz en el ser humano que, aunque sea complejo, es muy importante. Este trabajo se ha centrado en estudios donde se analizan los estímulos lumínicos más relevantes como son la temperatura de color correlacionada y la iluminancia. En estudios como el de Chellappa et al. (Chellappa et al., 2011) se observan mejoras en el estado de alerta, el bienestar y el rendimiento cognitivo con una mayor temperatura de color correlacionada. En cambio, en algunos ensayos como el de Smolders y de Kort (Smolders et al., 2016) no se obtuvieron resultados concluyentes o incluso contradictorios así como el estudio realizado por Aries et al. (Aries et al., 2020).

En cuanto a la muestra, se han escogido estudios donde se escojan a participantes de entre unos 18 y 30 años aproximadamente que sean estudiantes, ya que este trabajo se centra en los espacios docentes. Entre los estudios varía mucho el tamaño de la muestra, pero se observa que cuando el número de participantes es mayor, se logran resultados más precisos.

Según el objetivo de los investigadores, existen estudios que se realizan en laboratorios que son aquellos que se quieren centrar en un estímulo en concreto y obtener resultados con mayor detalle además de evitar distracciones. Otros son estudios de campo en el espacio físico real para obtener resultados más generales y englobar las posibles distracciones que pueden aparecer. Por ejemplo, el estudio de Aries et al. (Aries et al., 2020) compara ambos ambientes y se observa que no se puede traspasar directamente la solución obtenida de un estudio de laboratorio a un espacio de trabajo real, porque el ambiente y sus variables no son los mismos. Además con el tiempo se ha ido incorporando la realidad virtual y también se ha incluido en estos estudios, es el caso de Hidayetoglu et al. (Hidayetoglu et al., 2012). Es una manera de recrear espacios reales y poder realizar modificaciones en las condiciones de iluminación de manera rápida y sencilla, y además los resultados apenas difieren de los que se lograrían en el espacio real.

Respecto al tiempo en que transcurren los estudios, algunos son de corta duración porque se miden a través de la realización de una tarea específica y los resultados se basan en ellas. En cambio, en otros se quiere medir el efecto que provoca la iluminación durante las horas de trabajo o resultados a largo plazo. A su vez, se procura no variar la hora en que se realizan las sesiones, de esta manera, se evitan alteraciones en el sistema circadiano de los participantes.

En los estudios revisados aparecen tres tipos de recogida de la respuesta del sujeto: las que se realizan mediante tareas; las respuestas fisiológicas que son totalmente objetivas y las respuestas de autoevaluación de los sujetos que son subjetivas y pueden variar según el momento en que se midan pues dependen del propio sujeto, de su estado de ánimo, estado de salud, estado laboral, etc.

#### **4.2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN FUTURAS**

Después de realizar la revisión de los estudios, se llega a la conclusión de que se debe de ser consciente de la importancia de la iluminación en los espacios docentes y de su influencia en el aprendizaje de los estudiantes. Por ello, es necesario seguir realizando investigaciones para adquirir mayores conocimientos sobre su aplicación.

Se necesitan nuevas investigaciones para poder controlar con exactitud cada parámetro de la iluminación y conocer su efecto en el ser humano. De esta manera, se podrían diseñar nuevos espacios de trabajo más acordes a las tareas realizadas en ellos. Para realizar estas investigaciones, sería interesante ayudarse de las nuevas tecnologías como la realidad virtual para estudiar el aula en su entorno de una manera rápida, sencilla y a su vez económica pudiendo obtener resultados muy válidos. El objetivo de estas investigaciones no sería buscar el tipo de iluminación ideal, sino comprender cómo la luz afecta a los seres humanos beneficiándolos o perjudicándolos según sean adecuadas o no las condiciones de iluminación. Estableciendo la iluminación de cada espacio de acuerdo con sus condiciones y circunstancias: una mayor o menor contribución de luz natural o la ausencia de esta, los acabados del aula, el tipo de mobiliario utilizado, etc.

A su vez, se considera necesario tener en cuenta la aportación de luz natural para una mayor eficiencia energética, además de aportar numerosos beneficios en el ser humano.

Por último, en el paso de los años la tecnología va avanzando y en la actualidad, han aparecido los paneles de iluminación OLED que poco a poco irán incorporándose al igual que lo hicieron los LED. Son lámparas con una mayor versatilidad y con mayor eficiencia energética, además, se acercan más al espectro de luz natural por lo que se considera fundamental investigar su influencia en el ser humano.

## BIBLIOGRAFÍA

---

- AENOR. (2012).** *Iluminación de los lugares de trabajo UNE-EN 12464-1.* 66, 52. <http://istas.net/descargas/gverde/gverde.pdf>
- Aries, M. B. C., Beute, F., y Fischl, G. (2020).** Assessment protocol and effects of two dynamic light patterns on human well-being and performance in a simulated and operational office environment. *Journal of Environmental Psychology*, 69(June 2019). <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101409>
- Ballina, M. (2016).** *Illuminating Education: Composition and Use of Lighting in Public K-12 Classrooms.*
- Benya, J. R. (2001).** *Lighting for Schools.*
- Blanca Giménez, V., Castilla Cabanes, N., Martínez Antón, A., y Pastor Villa, R. M. (2010).** Luminotecnia: Magnitudes Fotométricas básicas. Unidades de medida. 4–5. <http://edison.upc.edu/curs/llum/indice0.html>
- Castilla Cabanes, N. (2015).** *La iluminación artificial en los espacios docentes.* 699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Castilla, N., Llinares, C., Bisegna, F., y Blanca-Giménez, V. (2018a).** *Affective evaluation of the luminous environment in university classrooms.* 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2018.07.010>
- Castilla, N., Llinares, C., Bisegna, F., y Blanca-Giménez, V. (2018b).** Emotional evaluation of lighting in university classrooms : A preliminary study. *Frontiers of Architectural Research*, 7(4), 600–609. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.07.002>
- Castro, M., y Morales, M. E. (2015).** Los ambientes de aula que promueven el aprendizaje, desde la perspectiva de los niños y niñas escolares. *Revista Electrónica Educare*, 19(3), 132–163. <https://doi.org/10.15359/ree.19-3.11>
- CATEDU. (n.d.). 2.1 Espectro visible.** Retrieved August 18, 2020, from [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3233/html/21\\_espectro\\_visible.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/3000/3233/html/21_espectro_visible.html)
- CEFIRE. (n.d.). 3.1 Tipos de lámparas.** Retrieved August 18, 2020, from [http://cefire.edu.gva.es/pluginfile.php/199806/mod\\_resource/content/0/contenidos/009/luminotecnia/31\\_\\_tipos\\_de\\_lmparas.html](http://cefire.edu.gva.es/pluginfile.php/199806/mod_resource/content/0/contenidos/009/luminotecnia/31__tipos_de_lmparas.html)
- Chellappa, S. L., Steiner, R., Blattner, P., Oelhafen, P., Götz, T., y Cajochen, C. (2011).** Non-visual effects of light on melatonin, alertness and cognitive performance: Can blue-enriched light keep us alert? *PLoS ONE*, 6(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016429>
- Choi, K., Shin, C., Kim, T., Chung, H. J., y Suk, H. (2019).** *Awakening effects of blue-enriched morning light exposure on university students' physiological and subjective responses.* November 2018, 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-36791-5>
- Clasificación según las características mecánicas de la luminaria. (2014).** <https://clasesiluminacion.files.wordpress.com/>
- de Kort, Y. A. W. (2019).** Tutorial: Theoretical Considerations When Planning Research on Human Factors in Lighting. *LEUKOS - Journal of Illuminating Engineering Society of North America*, 15(2–3), 85–96. <https://doi.org/10.1080/15502724.2018.1558065>

- Efecto LED. (2017).** *¿Qué es el CRI? ¿Por qué es tan importante?*  
<https://www.efectoled.com/blog/indice-reproduccion-cromatica/>
- ERCO. (2012).** *Guía ERCO.*
- Esteky, S., Wooten, D. B., y Bos, M. W. (2020).** Illuminating illumination: Understanding the influence of ambient lighting on prosocial behaviors. *Journal of Environmental Psychology*, 68(October 2019), 101405. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101405>
- Fernández-Ballesteros, R. (1980).** *Psicodiagnóstico*, ed. Cincel - Kapelusz, Madrid.
- Folguera Caveda, E. (2013).** *La iluminación artificial es arquitectura.*
- Guillaume, P. (1964).** *Psicología de la forma.* Buenos Aires: Psique.
- Hidayetoglu, M. L., Yildirim, K., y Akalin, A. (2012).** The effects of color and light on indoor wayfinding and the evaluation of the perceived environment. *Journal of Environmental Psychology*, 32(1), 50–58. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2011.09.001>
- Hothersall, D. (1997).** *Historia de la psicología.* México: Mc Grau Hill.
- Hsieh, M. C., Hong, L. Y., Wang, E. M. Y., Chao, W. C., Yang, C. C., y Su, L. C. (2020).** Effect of correlated colour temperature and illuminance levels on user's visual perception under LED lighting in Taiwan. *Ergonomics*, 63(2), 175–190.  
<https://doi.org/10.1080/00140139.2019.1699964>
- Huiberts, L. M., Smolders, K. C. H. J., y de Kort, Y. A. W. (2015).** Shining light on memory: Effects of bright light on working memory performance. *Behavioural Brain Research*, 294, 234–245. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.07.045>
- IDAE, y CEI. (2005).** *Guía Técnica Aprovechamiento de la luz natural de edificios.*
- La luz - DEP-SPD y Eficacia luminosa | Entre Cielo y Tierra. (n.d.).** Retrieved August 18, 2020, from <https://entrecieloytierra.com/articulos/feng-shui/la-luz-dep-spd-eficacia-luminosa/>
- Lee, C. W., y Kim, J. H. (2020).** The Influence of LED Lighting on Attention and Long-Term Memory. *International Journal of Optics*, 2020, 1–6.  
<https://doi.org/10.1155/2020/8652108>
- McCreery, J., y Hill, T. (2005).** *Illuminating the Classroom Environment.*
- Monteoliva, J M, Villalba, A., y Pattini, A. (2015).** *Temperatura de color correlacionada de la luz natural : análisis dinámico en espacios interiores.* October.  
<https://doi.org/10.3989/ic.14.146>
- Monteoliva, Juan Manuel, y Pattini, A. (2013).** Iluminación natural en aulas: análisis predictivo dinámico del rendimiento lumínico-energético en clima soleados. *Ambiente Construido*, 13(4), 235–248. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212013000400016>
- Monteoliva, Juan Manuel, Villalba, A., y Pattini, A. E. (2014).** Uso de dispositivo de control solar en aulas: impacto en la simulación dinámica de la iluminación natural. *Ambiente Construido*, 14(3), 43–58. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212014000300004>
- Oviedo, G. L. (2004).** *Antecedentes y contexto histórico del concepto percepción.* 18, 89–96.
- Park, J. Y., Min, B. K., Jung, Y. C., Pak, H., Jeong, Y. H., y Kim, E. (2013).** Illumination influences working memory: An EEG study. *Neuroscience*, 247, 386–394.  
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2013.05.016>

- Prisma Luz. (n.d.).** Índice de reproducción cromática | Proyectos de iluminación | Prisma Luz. Retrieved August 19, 2020, from <http://www.prismaluz.es/indice-de-reproduccion-cromatica/>
- Rodríguez, P. (2018).** *Iluminación OLED, así es cómo esta luz futurista pretende desbancar a tus actuales bombillas LED.* <https://www.xatakahome.com/iluminacion-y-energia/iluminacion-oled-asi-como-esta-luz-futurista-pretende-desbancar-a-tus-actuales-bombillas-led>
- Smolders, K. C. H. J., y de Kort, Y. A. W. (2017).** Investigating daytime effects of correlated colour temperature on experiences, performance, and arousal. *Journal of Environmental Psychology, 50*, 80–93. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2017.02.001>
- Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W., y Cluitmans, P. J. M. (2012).** A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology and Behavior, 107*(1), 7–16. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2012.04.028>
- Smolders, K. C. H. J., de Kort, Y. A. W., y Cluitmans, P. J. M. (2016).** Higher light intensity induces modulations in brain activity even during regular daytime working hours. *Lighting Research and Technology, 48*(4), 433–448. <https://doi.org/10.1177/1477153515576399>
- te Kulve, M., Schlangen, L., Schellen, L., Souman, J. L., y van Marken Lichtenbelt, W. (2018).** Correlated colour temperature of morning light influences alertness and body temperature. *Physiology and Behavior, 185*(September 2017), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2017.12.004>
- Van Bommel, W. J. M., y van den Beld, G. J. (2004).** La iluminación en el trabajo: Efectos visuales y biológicos (traducción). *Philips Lighting, 18*.
- Wang, Q., Xu, H., Zhang, F., y Wang, Z. (2017).** Influence of color temperature on comfort and preference for LED indoor lighting. *Optik, 129*, 21–29. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.10.049>
- Yang, C., Yang, P., Liang, S., y Wang, T. (2019).** The effects of illuminance and correlated colour temperature on daytime melatonin levels in undergraduates with sub-syndromal SAD. *Lighting Research and Technology, Table 1*, 1–14. <https://doi.org/10.1177/1477153519884097>

## ANEXOS

---

### **ANEXO 1: ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Aberraciones esféricas. Fuente: Erco.....	8
Figura 2. Aberraciones cromáticas. Fuente: Erco.....	8
Figura 3. Curvas de sensibilidad espectral de los ojos. $V\lambda$ para el sistema de conos y $V'\lambda$ para el sistema de bastones. Fuente: Philips.....	9
Figura 4. Imagen de dos grupos de tres piezas. Fuente: Hothersall, 1997, p. 220.....	10
Figura 5. Formación de columnas (izquierda) o filas (derecha) según la semejanza de las figuras. Fuente: Hothersall, 1997, p. 220.....	11
Figura 6. Espectro visible por el ojo humano. Fuente: Elaboración propia en base a datos de educativa.catedu.es.....	12
Figura 7. Curva espectral del sol, LED frío y LED cálido. Fuente: Entrecieloytierra.....	13
Figura 8. Esquema resumen de tipos de lámparas. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 9. Iluminación directa. Fuente: Elaboración propia.....	18
Figura 10. Iluminación indirecta. Fuente: Elaboración propia.....	19
Figura 11. Combinación de luz natural y artificial en un aula. Fuente: Steon.....	24
Figura 12. Esquema de los tres grupos de trabajo, los empleados en el estudio de campo y los estudiantes en el laboratorio. Fuente: Aries et al., 2020.....	28
Figura 13. Esquema de la exposición a la luz con los diferentes procesos llevados a cabo y las temperaturas de color utilizadas. Fuente: Chellappa et al., 2020.....	30
Figura 14. Gráfica representativa de la percepción de los participantes de la temperatura de color correlacionada. Fuente: Hidayetoglu et al., 2012.....	31
Figura 15. La somnolencia y el bienestar de los participantes expuestos a las temperaturas de color correlacionadas de 6500 K, 3000 K y 2500 K. Fuente: Chellappa et al., 2011.....	35
Figura 16. Gráfica de Kruithof. Fuente: Castilla Cabanes, 2015.....	36
Figura 17. Máquina para medir la atención. Fuente: Lee y Kim, 2020.....	39
Figura 18. Distribución del laboratorio donde tuvo lugar el experimento. Fuente: Lee y Kim, 2020.....	45

### **ANEXO 2: ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Características de la muestra utilizada en los estudios.....	43
Tabla 2. Respuestas de los sujetos medidas en los estudios.....	50
Tabla 3. Resumen de los resultados obtenidos en los estudios.....	51