

# Componentes de la luz: factores esenciales en los espacios para modular la actividad cerebral

Components of light: essential factors in spaces to modulate brain activity

*Recibido: agosto 2020*

*Aceptado: septiembre 2021*

María Jimena de los Reyes Cruz<sup>1</sup>

Ricardo Gómez Maturano<sup>2</sup>

Luis Guillermo Ayala Torres<sup>3</sup>

---

## Resumen

La luz en la arquitectura se ha concebido desde diferentes perspectivas como estética, funcional, métodos de iluminación, normativo; sin embargo, en la arquitectura poco se han considerado el efecto de la luz a nivel neuronal. En este contexto, el objetivo es realizar una revisión de las investigaciones de neurociencias sobre la luz y su relación con los espacios, en particular con sus efectos en el sistema nervioso, procesos cognitivos y estados de ánimo. En la revisión se encontró que poco se han realizado en la búsqueda del confort en iluminación, debido al número de factores que la componen, las contradicciones en torno a sus investigaciones y la falta de control sobre éstas; A pesar de esto ha sido muy difundida la curva de confort de Kruithof. Los resultados muestran que hay aspectos cualitativos y cuantitativos, de la intensidad luminosa y la temperatura color que aporta la luz al espacio; y no solo el factor estético. Estos factores interactúan con la forma arquitectónica y a su vez pueden modular la actividad cerebral produciendo o facilitando procesos de atención, memoria, juicios de belleza y no siempre están dentro de los rangos de la muy usada curva de confort de Kruithof.

## Palabras Claves:

arquitectura; iluminación; procesos neuronales

## Abstract

Light in architecture has been conceived from different perspectives such as aesthetic, functional, lighting methods, normative; however less has been considered in architecture the effect of light at the neuronal level. In this context, the objective is to carry out a review of neuroscience research on light and its relationship with spaces, in particular with its effect on the nervous system, cognitive processes and moods. The review found that little has been done in the number of factors that compose it, the contradictions around their research and the lack of control over them; Despite this the Kruithof comfort curve has been widely used. The results show that there are quantitative and qualitative aspects, of light intensity and color temperature that light brings to the space; and not only the aesthetic factor. These factors interact with the architectural form and in turn can modulate brain activity producing or facilitating processes of attention, memory, beauty judgements and are not always within the ranges of the widely used Kruithof comfort curve.

## Keywords:

architecture; illumination; neural processes

---

<sup>1</sup> Nacionalidad: mexicana; adscripción: Universidad Bancaria de México en Maestría; Doctorante en el Instituto Politécnico Nacional; email: jimenaadelosreyesc@gmail.com

<sup>2</sup> Nacionalidad: mexicano; adscripción: profesor investigador de la Sección de Estudios de Posgrado e Investigación de la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Tecamachalco del Instituto Politécnico Nacional; Doctor en Urbanismo por la Universidad Nacional Autónoma de México, Maestro en Ciencias en la Especialidad de Arquitectura e Ingeniero Arquitecto por el Instituto Politécnico Nacional; miembro del Sistema Nacional de Investigadores; email: alternz@hotmail.com

<sup>3</sup> Nacionalidad: mexicano; adscripción: Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología del Instituto Politécnico Nacional; Doctor en Biomédica por el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico; email: lg.ayalat@gmail.com

## INTRODUCCIÓN

La luz en la arquitectura se ha concebido desde diferentes perspectivas como, la estética, con juegos de luz y de sombras; desde la perspectiva funcional, desarrollo de métodos de iluminación que sirven para administrar la distribución de las luminarias; y desde el normativo como un factor de intensidad. Sin embargo, en la arquitectura poco se han considerado el efecto de la luz a nivel neuronal en sus habitantes y cómo puede aplicarse en el diseño arquitectónico.

Cuando se habla de la luz de manera estética podemos recordar la frase de Le Corbusier de 1920: “*la arquitectura es el encuentro de la luz con la forma*”, “*la arquitectura es el juego sabio, correcto y magnífico de los volúmenes bajo la luz...*” (Corbusier, 1923). O cómo el arquitecto estadounidense Steven Holl: “*el espacio no tiene sentido sin luz. Un edificio habla a través del silencio de la percepción orquestada por la luz*” (Holl, 2016). Sin embargo, los estudios realizados entorno a la luz y su relación con el espacio nos dejan claro que la luz es mucho más que solamente una cuestión de estética y armonía.

En el punto de vista funcional, encontramos los métodos de diseño de iluminación artificial como el Método Lumen, que consiste en calcular la distribución de las luminarias basados en las características de las lámparas y actividad a realizar; y los métodos de cálculo de luz natural como Factor luz de día, de flujo total o método PSALI (*Permanent supplementary Artificial Lighting in Interiors*) o CIE (*Comisión internacional de Eclairage*); que nos ayudan a calcular la intensidad lumínica natural en un punto en el espacio interior según el tipo de cielo, la orientación de la ventana y las características físicas del cristal como la transmitancia, absorptancia y reflectancia; es decir, sirven para ayudar a controlar las entradas de luz natural al espacio interior. Pero ningún método nos dice cómo diseñar a partir de los componentes de la luz y su efecto neuronal sobre los usuarios en los espacios.

Desde un punto de vista normativo, la búsqueda exclusiva de confort lumínico sirvió para resaltar deficiencias en los diseños de iluminación artificial, en la normativa aplicable en México como, la Norma técnica complementaria para el proyecto arquitectónico y La Norma Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008. Estas hacen referencia únicamente al factor intensidad o luxes.

La mayor parte de estas perspectivas sobre

la arquitectura y la luz olvidan que esta se debe concebir por sus aspectos cualitativos y cuantitativos, es decir, tiene valores de interacción entre la luz y la forma arquitectónica, con su variabilidad en intensidad y en color, como la consecución de unos niveles de iluminación adecuados según la actividad a realizar (Yañez, 2008). A lo largo del tiempo se han obtenido varios índices de confort visual para evaluar determinadas características en un entorno luminoso o percepción visual de los humanos en dicho entorno: Salvatore Carlucci, Francesco Cusone de la Rosa y Lorenzo Pagliano destaca factores cualitativos y cualitativos como: la cantidad de luz, calidad de la luz y la calidad de renderizado de la luz. (Carlucci, Francesco, De la Rosa, y Pagliano, 2015) Además, Kevin Van Den Wymelenberg y Mehlika Inanici sugieren que las mediciones de iluminancia vertical son capaces de predecir el confort visual a diferencia de las horizontales. (Wymelenberg y Inanici, 2014)

Pero además, tiene otra interacción estudiada muy recientemente y hasta ahora no desarrollada en la enseñanza de la arquitectura, que es su impacto a nivel neuronal, al respecto se han encontrado patrones a diferentes estímulos. Por ejemplo, han conducido a cambios en el ciclo circadiano, estado de ánimo y habilidades cognitivas (Berson, Dunn, y Takao, 2002) debido a la exposición de diferentes tipos de luz en un mismo espacio.

En este sentido, los resultados del trabajo teórico de éste artículo apuntan a dos cualidades de la luz por ser reconocidas como factores esenciales en la luz (Nakamura y Karasawa, 1999). La intensidad luminosa y la temperatura del color, así al revisar las investigaciones de la luz y su relación con algunos de los principales procesos cognitivos se podrá desentrañar información sobre cómo las condiciones de iluminación pueden modular la actividad cerebral.

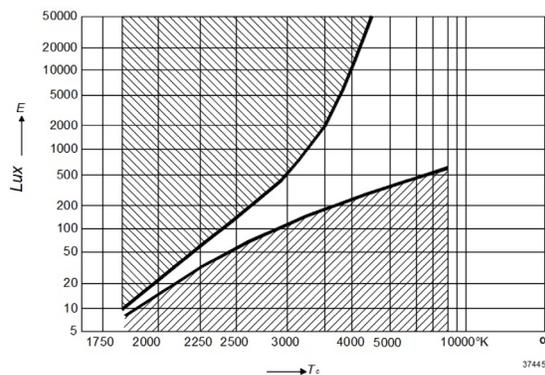
La neuro-arquitectura es una nueva disciplina que une las neurociencias con los entornos arquitectónicos. La premisa de la neuro-arquitectura es considerar cómo cada característica del entorno influye en procesos cerebrales; puede considerarse un estudio análogo al análisis del sitio pero con un enfoque en una variedad de respuestas fisiológicas para construir además de un espacio; la respuesta a su entorno. (Eldestein, 2006) Por esto, resulta fundamental para analizar y describir procesos fisiológicos y cognitivos que se activan en el individuo para producir reacciones

o facilitar procesos como la atención, memoria, juicios de belleza entre muchos otros. Conocer el efecto que tiene cada elemento del espacio, en este caso la luz; es de suma importancia para un diseño arquitectónico eficiente.

**LA CURVA DE CONFORT DE KRUIHTOF PARA EL CONFORT LUMÍNICO**

Hasta ahora pocos se han aventurado a la búsqueda del confort en lo que a iluminación se refiere, debido al número de factores que la componen, las contradicciones en torno a sus investigaciones y la falta de control sobre ésta. Sin embargo, Arie Andries Kruithof descubrió el efecto de la temperatura del color en las personas y la intensidad lumínica, lo cual reportó en la curva que desarrollo en 1941 (Kruithof, 1941). La curva consta de dos ejes, uno longitudinal y otro transversal. En el eje de las “x” u horizontal, están las unidades de temperatura del color o CCT en grados Kelvin, desde 1750°K que corresponde a tonos de luz color rojo intenso, hasta los 10 000°K que corresponde a tonos azulados, comparables al cielo azul. En el eje “y” o vertical están ubicadas las intensidades luminosas en luxes. Comienzan en 5 lux o la intensidad de una vela prendida en un cuarto oscuro, hasta los 50 000 lux comparable a la intensidad de luz de un día soleado completamente despejado.

**Figura 1. Curva de Kruithof**



*Fuente: The Kruithof Curve original 1941*

Sin embargo, hay dos debilidades en esta gráfica, por un lado los rangos de confort presentados resultan ser muy amplios, la curva abarcan aproximadamente desde los 7 lux hasta

los 50 000 lux y desde los 1875°K hasta los 50 000°K. Y por otro lado, existe poca información del experimento de Kruithof para replicarlo fehacientemente. Por ejemplo, respecto a la poca información del experimento Masahiko Sato antropólogo fisiológico en Japón destaca algunos problemas con la curva de Kruithof: el hecho de que los equipos de iluminación no podrían haber reproducido con precisión los rangos de temperatura del color de 2000K a 8000K. Además de que, las mediciones de las funciones fisiológicas estaban en estados primitivos y el conocimiento acerca de las funciones fisiológicas eran significativamente limitadas comparada con el conocimiento actual. (Mukae y Sato, 1992)

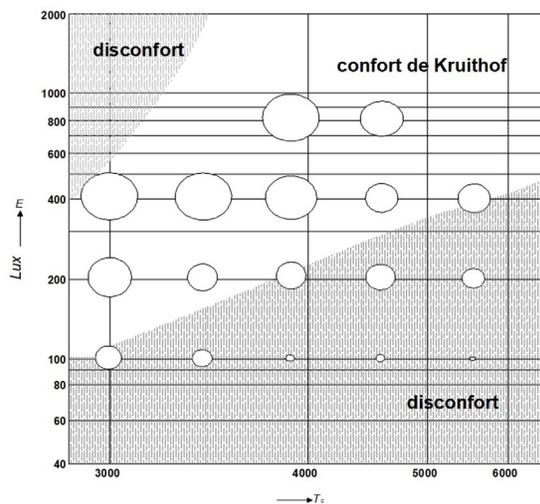
Steve Fotios en 2017 también hace una crítica a la curva Kruithof, resaltando la vaga descripción de sus fuentes de iluminación, además de no presentar las escenas visuales, ni fuentes de iluminación, el procedimiento de búsqueda de respuesta, la falta de datos cuantitativos reportados como tendencia o varianza, ni la discusión del análisis estadístico. Asegura que, las combinaciones propuestas en la curva no provee evidencia suficiente para soportar las supuestas combinaciones de iluminancia y CCT que conducirían a condiciones agradables. Además en su artículo, presenta un resumen de estudios que proveen evidencia para preferencias de condiciones entre luminancia y CCT. En donde: Boyce y Cuttle en su experimento 1 y 2 (1990), Davis y Grinther (1990), Dikel y otros (2014), Han y Boyce (2003) y Wei y otros (2014) de los diez autores analizados no apoyan la curva Kruithof. Sin embargo, Fotios también reconoce que hay una necesidad de más trabajo experimental con respecto a una relación entre iluminancia y CCT, pero no para confirmar las zonas de confort de Kruithof. (Fotios, 2017)

Lamentablemente a pesar de que los resultados fueron hechos con mediciones psicológicas y su falta de especificaciones, es una curva que ha estado vigente en los manuales de iluminación hasta el año 2010 y se sigue utilizando como referencia para algunas investigaciones de iluminación; es probablemente el diagrama más reproducido en la historia de la iluminación (Cuttle, 2015) y ha sido incluido en la octava edición del manual de iluminación de la sociedad de ingeniería de iluminación de Norte América 1993.

En este contexto de incertidumbre, para confirmar la validez de la curva, Hajimu

Nakamura y Yoshinori Karasawa compararon los resultados de sus pruebas dentro de la curva Kruithof y sus resultados indicaron que la baja iluminancia era confortable cuando es baja la temperatura del color y la alta iluminancia era confortable con alta temperatura del color, por lo tanto las evaluaciones en su estudio eran similares a los resultados de Kruithof (Nakamura y Karasawa, 1999). En la gráfica que se muestra a continuación podemos ver los resultados de sus estudios; los círculos más grandes representan un gran agrado por las combinación y conforme se van haciendo más pequeños el desagrado por la combinación donde se encuentran ubicados. Las zonas con círculos más grandes coinciden con las zonas de confort ubicadas en la zona sin sombra de la curva Kruithof.

**Figura 2. Gráfico de resultados: de Nakamura y Karasawa ubicados en la curva Kruithof**



Fuente: Nakamura y Karasawa, 1999

También, Han verificó la validez de la curva en iluminación para oficina y salones de conferencia, lo que indicó que la iluminancia y la temperatura del color son los factores determinantes para la aceptabilidad de la iluminación (Han, 2002).

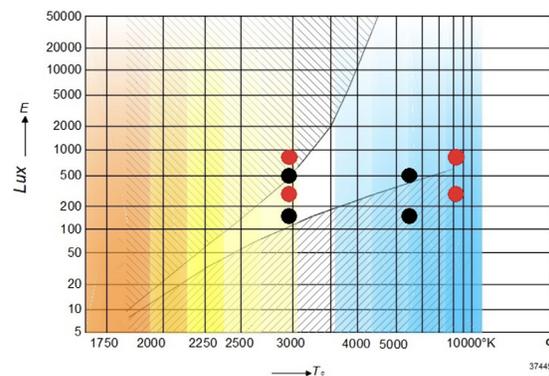
Además, Quing Wang, Haisong Xu, Fuzheng Zhang y Zhehong Wnag afirman que la curva Kruithof es básicamente razonable como un todo, pero que hay algunas localizaciones de configuración experimental en el área sombreada con propiedades de relativamente gran confort y preferencia como la combinación de 6500 K y 350 lux, lo que indica que la curva Kruithof no

predice exactamente la preferencia de confort para la iluminación (Wang, Xu, Zhang, y Wang, 2016).

Entre otras investigaciones destacables en relación con la curva, cabe mencionar la de los investigadores japoneses Hiroki Noguchi y Toshihiko Sakaguchi en 1999 (*puntos color negro en la ilustración 2*), Jin Young Park, Byoung Kyong Min, Young Chul Jung, Hyensou Park, Yeon-Hong Jeong y Eosu Kim en 2013 (*puntos color rojo en la figura 3*), utilizaron la curva para elegir los parámetros dentro de sus investigaciones sobre la luz y la actividad fisiológica en el sistema nervioso y en actividades cognitivas como: memoria de trabajo y atención sostenida. Ubicando sus parámetros dentro de lo que podría considerarse “zona de confort” y “zona de disconfort”.

Estas investigaciones sirven para confirmar que la curva de Kruithof a pesar de ser criticada ha estado vigente y puede servir de referencia para investigaciones de mayor profundidad, como el impacto de la luz en los procesos mentales y no solamente el confort en general.

**Figura 3. Localización de puntos en la curva, dentro y fuera del confort y su relación con la intensidad y temperatura**



Fuente: Elaboración propia basada en la curva original de Kruithof y los datos de Hiroki Noguchi y Toshihiko Sakaguchi en 1999 y Jin Young Park, Byoung Kyong Min, Young Chul Jung, Hyensou Park, Yeon-Hong Jeong y Eosu Kim en 2013

**INTENSIDAD LUMINOSA**

La intensidad luminosa también conocida como cantidad de luz o nivel de iluminación, se ubica dentro del eje de las ordenadas en la curva Kruithof (Kruithof, 1941). Los estudios al respecto, se

han ido haciendo cada vez más específicos y se comenzaron a relacionar con procesos mentales y haciendo pruebas con electroencefalogramas como Kobrick y Cahoon sobre el brillo y la actividad cortical (Kobrick y Cahoon, 1968) y Robinson, sobre el tiempo de reacción visual y el ritmo alfa con estímulos luminiscentes (Robinson, 1966).

Más adelante se relacionó el nivel de iluminación con el sistema nervioso, así Sugimoto (Sugimoto, 1980), Sugimoto y Hataoka (Sugimoto y Hataoka, 1986) reportaron que una iluminancia a 320-560 lux aumentaba la frecuencia cardíaca rápidamente en entornos iluminados de 10 lux a 2000 lux, también Sato, Toma, Nakayama y Takahashi (Sato, Toma, Nakayama, y Takashi, 1996) reportaron que condiciones de 3125 lux incrementaban el ritmo cardíaco de 200 a 3125 lux.

Los investigadores coreanos: Jin Young Park, Byoung Kyong Min, Young Chul Jung, Hyensou Park, Yeon-Hong Jeong y Eosu Kim, estudiaron cómo afecta la intensidad luminosa en la memoria de trabajo por medio de un EEG. Encontraron que las condiciones de iluminación afectaban la actividad sin afectar el rendimiento de la tarea y que la condición de la luz brillante es decir, 700 lux influencia el proceso atencional post estímulo (Young Park, y otros, 2013).

Algunas investigaciones revelaron que participantes se sintieron mal después de haber sido expuestos a altos niveles de iluminancia, en términos de atención sostenida deteriorada, inhibición de respuesta auditiva y memoria de trabajo (Smolders y de Kort, 2014; Huiberts, Smolders, y de Kort, 2015; Leichtfried, y otros, 2015; y Min, Jung, Kim, y Jin, 2013). Hiroki

Noguchi y Toshihiko Sakaguchi, concordaron que la iluminancia alta estresa y activa el sistema nervioso autónomo (específicamente el sistema nervioso simpático) y el sistema nervioso central (Noguchi y Sakaguchi, 1999).

**Figura 5. Efectos registrados en diferentes investigaciones a altas intensidades luminosas**

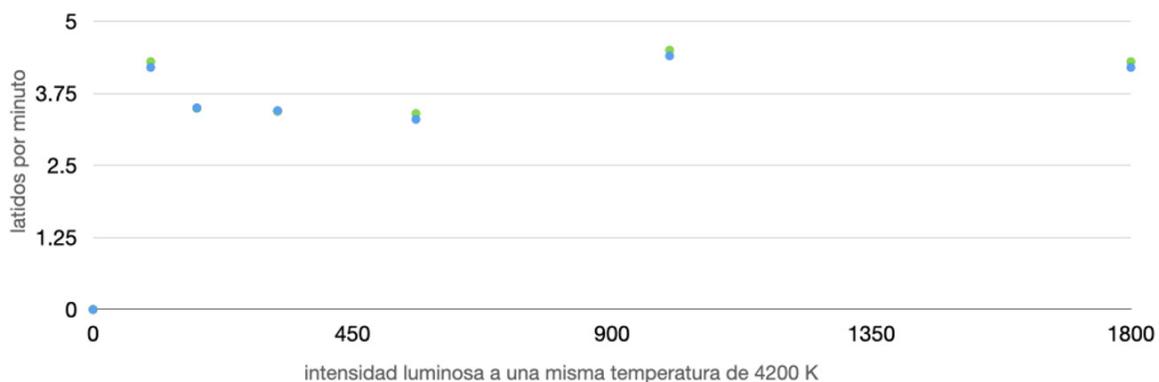


*Fuente: Elaboración propia. Basado en la información de: Smolders y de Kort 2014, Huiberts, Smolders y de Kort 2015, Leichtfried y otros 2015*

Sin embargo, Boyce y Cuttle revelaron que una luminancia más alta en una habitación podría hacer a una persona percibir el espacio: más agradable, más confortable, más claro, más colorido, más estimulante, brillante, más natural, más amigable, más cálido, más uniforme, menos perezosa, menos tenue y menos hostil (Boyce y Cuttle, 1990).

Por otra parte, Wilhelm presentó una perspectiva similar pero enfocada a otros aspectos: que los niveles de luminancia tiene una influencia insignificante en estados de alerta, satisfacción, bienestar y humor de las personas, siendo así, que presentar las aplicaciones de altas iluminancias

**Figura 4. Gráfico de latidos en diferentes intensidades luminosas**



*Fuente: Elaboración propia con los datos de: Suguro Sugimoto y Hiroshi Hataoka (1986)*

en un espacio de trabajo debe ser cuidadosamente propuesto para situaciones específicas (Whilhem, Weckerle, Durst, Fahr, y Rock, 2011).

En un estudio reciente realizado por los colombianos: Andrés-Eduardo Nieto Vallejo; Jorge Enrique Camacho y Edgar Hernandez-Mihajlovic sobre sistemas de luz dinámicos para incrementar la atención en el aula; en dónde las mediciones fueron hechas por medio de catorce electrodos y anteojos de seguimiento Tobii (ET) para medir los niveles de atención. Los resultados obtenidos mostraron que a mayores niveles de iluminancia (800 lux) incrementaba la atención fija durante las tareas de: presentación, ideación o diseño y con las condiciones de iluminación fría (6500K), los participantes tenían una mirada dispersa y utilizaban menos tiempo haciendo la fijación visual. Así, los autores recomiendan que una temperatura de color cálida (2800K) puede ser útil para aumentar los niveles de atención en los estudiantes cuando están desarrollando una tarea única y una temperatura fría (6500K) puede ser útil cuando los estudiantes necesitan desarrollar múltiples actividades como: escuchar, escribir y observar una exposición (Nieto Vallejo, Camacho, y Hernandez-Mihajlovic, 2021).

Dicho lo anterior, es importante retomar todas estas investigaciones para que las próximas partan de valores medios o bajos para el desarrollo de sus experimentos, en caso de querer obtener la iluminancia como un factor beneficioso en los espacios y no como una molestia o incomodidad. Todas estas investigaciones proveen evidencia objetiva de que las condiciones de iluminación influyen en la modulación de la actividad cerebral. En este sentido, es pertinente resaltar que la luz no solamente se compone de intensidad como lo hemos mencionado anteriormente (Kruithof, 1941; Nakamura y Karasawa, 1999) es decir, no es un elemento que se puede aislar, si no que cuenta con varios componentes entre ellos la temperatura del color ¿Por qué han tratado de aislar los componentes de la luz para encontrar el confort, si la luz tiene varios componentes? Quizá ese ha sido el causante de algunas contradicciones en cuestión de confort lumínico, el tratar de aislar un factor siendo que se compone de varios ¿Por qué a pesar de todas estas investigaciones en torno a la intensidad lumínica no se ha podido llegar a una conclusión contundente?

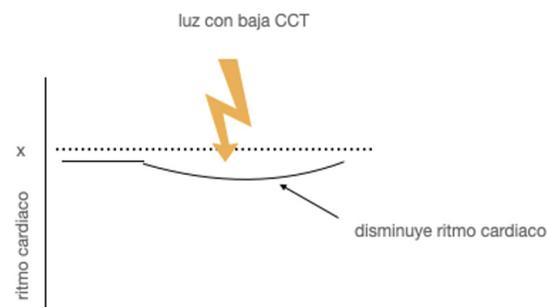
## LA TEMPERATURA DEL COLOR (CCT)

Ubicada en el eje de las abscisas en la curva de confort Kruithof, como ya se ha mencionado. Es otro de los factores esenciales de la luz. Los investigadores japoneses Mukae y Sato investigaron la variabilidad del ritmo cardiaco como indicador de los efectos en el sistema nervioso autónomo en entornos iluminados con 3000 K, 5000 K y 6700K y reportaron mayor actividad nerviosa autonómica bajo 6700 K que en 3000K (Mukae y Sato, 1992)

De manera análoga, Deguchi y Sato estudiaron sobre la variación negativa contingente como indicador del sistema nervioso central y reportaron niveles más altos del sistema nervioso central bajo condiciones de 7500 K que en condiciones que en 3000K (Deguchi y Sato, 1992). Cabe resaltar que Iwaki, Watanuki, Yasukouchi y Tochiara obtuvo resultados similares (Iwakiri, Watanuki, Yasukouchi, y Tochiara, 1997).

Por otra parte Hiroki Noguchi y Toshihiko Sakaguchi, obtuvieron resultados que sugirieron que la luz de baja temperatura del color crea una disminución suave en la actividad del sistema nervioso y que la iluminación de baja temperatura del color puede ser efectivamente usada en una habitación u otro ambiente donde sea deseable bajar la actividad física (Noguchi y Sakaguchi, 1999).

**Figura 6. Gráfico de cambio de ritmo cardiaco por la variación en la temperatura del color, a temperatura más baja, baja el ritmo y a temperatura más alta sube**

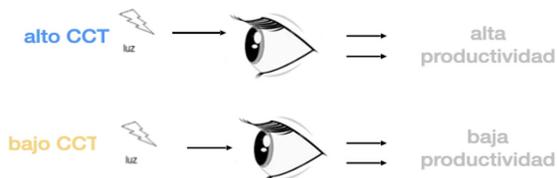


*Fuente: Elaboración propia: basado en los resultados de Noguchi y Sakaguchi (1999)*

Además, Henri, examinó la influencia del color en cuestión de preferencia visual, en un área industrial de trabajo, que mostro una mejora significativa en la productividad cuando una temperatura del color alta fue adoptada

(Henri, 2006) y Mills encontró resultados similares utilizando luz fluorescente, siendo la primera investigación en utilizar valores con luz fluorescente de 17 000 K (Mills, Tomkins, y Schlangen, 2007).

**Figura 7. Alta CCT se recomienda en espacios de trabajo para mejorar la productividad**



*Fuente: elaboración propia basado en resultados de Henri, 2006*

Estas investigaciones nos dejan como conclusión que a mayor temperatura del color: mayor actividad nerviosa y a menor temperatura del color: disminución de la actividad nerviosa. Siguen siendo una evidencia empírica de cómo las condiciones de iluminación influyen en las actividades del sistema nervioso. No se registró que un aumento en la temperatura del color haya socavado el rendimiento en cuestión de atención sostenida, inhibición de respuesta auditiva y memoria de trabajo; como sí sucedió con la intensidad luminosa. Es necesario enfatizar, que al igual que con la intensidad el factor: temperatura del color no es un factor que pueda no tener intensidad. Un factor forma parte del otro.

## ILUMINANCIA Y TEMPERATURA DEL COLOR

Entre los estudios que se destacan por otorgarle igual importancia a la temperatura del color y a la intensidad luminosa se destaca el de Küller y Wetterberg que fueron de los pioneros en investigar, utilizando lámparas fluorescentes, en las ondas alfa; reportaron un decremento en el EEG de ondas alfa a lo largo de un día bajo condiciones de 1700 lux creado por lámparas fluorescentes color diurno, en entornos iluminados desde 450 a 1700 lux creado por el color de día y lámparas fluorescentes de color cálido blanco (Küller y Wetterberg, 1993).

Por otra parte, Taotao Ru, Yvonne A. W de Kort, Karin C.H.J Solders, Qingwei Chen y

Guofu Zhou exploraron los agudos efectos de los niveles de luz y temperatura del color de iluminación interior de una manera más profunda, en subjetivas medidas de alerta y rendimiento de tareas durante el día. Los niveles que investigaron fueron 100 lux vs 1000 lux y 3000 K vs 6500 K en un entorno de oficina simulada, en estado de alerta subjetiva y desempeño de la atención sostenida, inhibición de respuesta, monitoreo de conflicto y memoria de trabajo. Además los efectos en el estado anímico. Los resultados revelaron que una manipulación de alto contra un bajo CCT no provocó estadísticamente beneficios en estados subjetivos de alerta y rendimiento de tareas, cabe resaltar que reveló un incremento en el efecto negativo. La exposición de alto contra bajo iluminancia brindó sutiles beneficios a los participantes en cuestiones de estado de ánimo y mejoramiento en rendimiento selectivo. La velocidad de reacción en tareas go/no go y ensayos incongruentes fueron significativamente mejores con 1000 lux comparado con 10 lux (Taotao, W de Kort, Solders, Chen, y Zhou, 2018). Concluyeron que los efectos combinados de estos dos componentes podrían proporcionar ideas cruciales en sí manipulando diferencialmente los niveles de luz en la oficina y que la temperatura del color sería esencial para optimizar el estado de alerta, anímico y el rendimiento cognitivo.

Por otra parte, Byoung-Kyong Min, Young Chul Jung, Eosu Kim y Jin Young Park en su estudio sobre: la luz brillante reduce la actividad EEG durante las tareas de atención sostenida, afirman que los tiempos de reacción fueron influenciados por el factor iluminancia pero no por la temperatura del color, asegurando que el valor medio de la potencia alfa de EEG prestimulus parietal fue por la iluminancia. Estos resultados implican que la condición más alta puede ser más influyente para producir una condición de temperatura del color de potencia alfa parietal EEG significativamente más baja. Aunque la actividad alfa parietal se redujo más bajo la temperatura de color de iluminación más alta y condición de iluminación más lata. Concluyendo que no hay interacción significativa entre la temperatura del color y la iluminancia pero que la iluminancia y temperatura del color sí influyen sustancialmente las actividad alpha durante las tareas de atención sostenida (Min, Jung, Kim, y Jin, 2013).

## CONCLUSIONES

La curva ha sido varias veces criticada en las investigaciones por la falta de información y veracidad de sus pruebas; pero también ha sido apoyada por otros, por lo cual sería preferible tomarla únicamente como referencia y no como un factor determinante. Un ejemplo de esto es como lo que afirma Qing Wang, Haison Xu, Fuzheng Zhang y Zhehong Wang, que 6500 K a 350 lux podrían tomarse en consideración como zona de confort, a pesar de estar en la zona de no confort de la curva Kruithof, esta curva requiere estudios a mayor profundidad.

Como hemos podido ver, los índices y métricas se encuentran en constante revisión por los especialistas e investigadores y se van actualizando conforme surgen nuevos sistemas de investigación. Las investigaciones en neurociencias nos revelan lo dinámico y plástico que es nuestro cerebro y cómo nuestras diferentes capacidades responden a nuestro entorno; como niños o como adultos y cómo esta exposición a condiciones del entorno influye en nuestras capacidades. Con este conocimiento, los avances tecnológicos para estudiar la respuesta del cerebro humano a un estímulo externo, proveen a los arquitectos, herramientas para desarrollar estudios objetivos: para cuantificar cómo las construcciones comprometen y afectan la mente y el cuerpo humano (Eldestein y Macagno, 2011).

Por un lado, es posible afirmar que las características de la iluminación afectan los procesos cerebrales tales como memoria, atención, estados de alerta, afectar en el sistema nervioso y es capaz de alterar el ritmo cardiaco. También en situaciones extremas como altos niveles de

intensidad luminosa puedes causar molestia bajos rendimientos en las tareas. Así que es fundamental empezar aplicar estos conocimientos en el la arquitectura y en su enseñanza.

Por otro lado, aún no se han puesto de acuerdo sobre cuál es el elemento más importante, la intensidad luminosa o la temperatura del color. Por eso no se ha desarrollado un método o gráfica que pueda combinar estos dos factores para ambientes específicos, sino solo algunas sugerencias para ciertas circunstancias, como situaciones de oficina o de trabajo. A pesar de las contradicciones de los diferentes autores: es importante resaltar que solo se encontró estados de molestia en altas de intensidades de iluminación, a diferencia de que a altos niveles de temperatura solo se encontraba mayor actividad nerviosa, pero no se reportaba como molestia.

La iluminación cuenta con estas dos características no aislables, solo se han controlado como variables de cada experimento para poder conocer cómo influyen. Sería importante seguir investigando en este rubro, combinándolas, para no tratar de encontrar cuál es la más importante sino cual es la combinación de ambas que nos permitirá obtener los resultados que estamos buscando.

Las condiciones de iluminación es un factor clave no solo en cuestión de visión, emociones, percepciones del espacio y funciones cognitivas. Es por eso que debe tomarse con sumo cuidado las propuestas de subir intensidades o cambiar temperaturas del color, quizá algunos autores no concuerdan con los niveles de afectación pero la gran mayoría concuerda que existen reacciones en cuestión de rendimiento, percepción, cognitivas y de productividad relacionadas con los dos factores de la luz que se han mencionado. 

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHDWON, I. (2012). "The Kruithof curve". *Chief Scientist, Lighting Analysis*, 1-3.
- BERSON, D., Dunn, F., & Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 1070-3.  
DOI: 10.1126/science.1067262
- BOYCE, P., & Cuttle, C. (1990). "Effect of correlated colour temperature on the perception of interiors and colour discrimination performance". *Lighting Res Technol*, 22, 19-36.  
<https://doi.org/10.1177/096032719002200102>
- Corbusier, L. (1923). Hacia una arquitectura: Tres advertencias a los señores arquitectos I, primera advertencia: vol 1.
- DEGUCHI, T., & Sato, M. (1992). "The effect of color temperature of lighting sources on mental activity level". *Ann Physiol Anthropol*, 11 (1):37-43.  
<https://doi.org/10.2114/ahs1983.11.37>

- FOTIOS, STEVE (2017). "A revised Kruithof Graph on empirical data." <https://doi.org/10.1177/14771535211006505>
- EDELSTEIN EVE A. (2008) Building Health : Health Environments Research & Design Journal [doi.org/10.1177/193758670800100208](https://doi.org/10.1177/193758670800100208)
- ELDERSTEIN E.A. y Eduardo Macango, (2012) Form follows function: bridging neuroscience and architecture Universidad de California.  
DOI:10.1007/978-1-4419-0745-5\_3
- HAN, S. (2002)." Effect of illuminance, CCT and Decor on the perception of lighting in". *Resselaer Polytechnic Instotute*.
- HENRI, J. (2006). "Influence of color temperature of the preferred lighting level in an industrial work area devoid of daylight". *Ingenieria iluminacion*, 25-36.
- HOLL, S. (26 de septiembre de 2016). *ArchDaily México*. Obtenido de ArchDaily México.: <https://www.archdaily.mx/mx/796033/steven-holl-un-edificio-habla-a-traves-del-silencio-de-la-percepcion-orquestada-por-la-luz>> ISSN 0719-8914
- HUIBERTS, L., Smolders, K., & de Kort, Y. (2015). "Shinning light on memory: Effect of bright light on working memory performance." *Behav Brain Res*, 234-245.  
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.07.045>
- IWAKIRI, K., Watanuki, S., Yasukouchi, A., & Tochihara, A. (1997)." The effect and after-effect of light source color on early component of CNV." *Jap Physiol Anthropol (in japanese with english abstract)*, 2(3) 139-145 .  
[https://doi.org/10.5100/jje.33.Supplement\\_226](https://doi.org/10.5100/jje.33.Supplement_226)
- KÜLLER, R., & Wetterberg, L. (1993)." Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans-impact of two fluorescent lamp types at two light intensities". *Light Res Technol*, 25 (2) 71-80.  
<https://doi.org/10.1177/096032719302500203>
- KOBRICK, J., & Cahoon, R. (1968). "Correspondence of brightness enhancement to cortical alpha rhythm". *Percept Motor Skills*, 27:751-756.  
<https://doi.org/10.2466/pms.1968.27.3.751>
- KRUIHOF, A. (1941). "Tubular luminescence lamps for general illumination". *Philips Tech Rev*, 6:65-96.
- LEICHTFRIED, V., Mair-Raggautz, M., Schaeffer, V., Hammerer-Lercher, A., Barternbach, C., Canazei, M., & Schobersberger, W. (2015). "Intense Illumination in the morning hours improved mood and alertness but not mental performance". *Appl Ergon*, 46, 54-59.  
<https://doi.org/10.1016/j.apergo.2014.07.001>
- MILLS, P., Tomkins, S., & Schlangen, L. (2007). "The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance". *Journal of circadian rhythms*, 1-9.  
<http://doi.org/10.1186/1740-3391-5-2>
- MIN, B., Jung, Y., Kim, E., & Jin, Y. (2013)." Bright illumination reduces parietal EEG alpha activity during a sustained attention task". *Brain Research*, 83-92.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.09.031>
- MUKAE, H., & Sato, M. (1992). "The effect of color temperature of light sources on the autonomic nervous functions". *Ann Physiol Anthropol*, 11 (5): 533-538.  
<https://doi.org/10.2114/ahs1983.11.533>
- NAKAMURA, H., & Karasawa, Y. (1999). "Relationship between illuminance-color temperature and preference of atmosphere". *Matsushita Electric Works*, 23:29-38, 1-10.  
[https://doi.org/10.2150/jlve.23.1\\_29](https://doi.org/10.2150/jlve.23.1_29)
- NIETO- VALLEJO ANDRES-EDUARDO, Camacho Jorge Enrique y Hernandez Mihajlovic (2021). "Dynamic Lighting System to increase the Attention of design students in the classroom".  
DOI: <https://doi.org/10.19053/01211129.v30.n55.2021.12233>
- NOGUCHI, H., & Sakaguchi, T. (1999)." Effect of illuminance and color temperature on lowering of physiological activity". *Applied Human Science*, 18, 117-123.  
<https://doi.org/10.2114/jpa.18.117>
- ROBINSON, D. (1966). "Visual reaction time and the human alpha rhythm: the effect of stimulus luminance, area and duration". *J Exp Psychol*, 71:16-25.

- <https://doi.org/10.1037/h0022683>
- SALVATORE CARLUCCI, Francesco Cusone, Francesco De Rosa, Lorenzo Pagliano (2015) "Una revisión para evaluar el confort visual con miras a su uso en procesos de optimización para apoyar la construcción del diseño integrado" <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.062>
- SATO, M., Toma, A., Nakayama, K., & Takashi, M. (1996). "Psychological effects of illuminance in an office space". *J. Illum Engng Inst Jpn (in japanese with english abstract)*, 80 (5) 331-338.  
[https://doi.org/10.2150/jiej1980.79.Appendix\\_197](https://doi.org/10.2150/jiej1980.79.Appendix_197)
- SMOLDERS, K., & de Kort, Y. (2014). "Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal". *J. Environ Psychol*, 77-91.  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.010>
- SUGIMOTO, S. (1980). "Physiological effects of environment lighting conditions. Relation between illumination levels and physiological load (part 1)". *J. Illum Engng Inst Jpn (in japanese with english abstract)*, 64 (4) 178-182.
- SUGIMOTO, S., & Hataoka, H. (1986). "Physiological effects of illuminance". *J. light SVls Env*, 10 (1) 15:20.  
[https://doi.org/10.2150/jlve.10.1\\_15](https://doi.org/10.2150/jlve.10.1_15)
- TAOTAO, R., W de Kort, Y., Solders, K., Chen, Q., & Zhou, G. (2018). "NIF effect of illuminance and correlated color temperature of office light on alertness, mood and performance across cognitive domains". *Building and Environment*, 3-30.  
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.002>
- VAN DEN WYMELENBERG K. y Mehlika Inanici (2014) "Acritical investigation of common lighting design metrics for predicting human comfort in office with daylight" <https://doi.org/10.1080/15502724.2014.881720>
- WANG, Q., Xu, H., Zhang, F., & Wang, Z. (2016). "Influence of color temperature on comfort and preference for Led Indoor Ligthning". 1-7.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2016.10.049>
- WHILHEM, B., Weckerle, P., Durst, W., Fahr, R., & Rock, R. (2011). "Increased illuminance at the workplace: Does it have advantages for daytime shifts?" *Lighting Res Technol*, 45, 185-199.  
<https://doi.org/10.1177/1477153510380879>
- YAÑEZ PARAREDA, G. (2008). *Arquitectura solar e iluminación natural*. España: Munilla-leíra.
- YOUNG Park, J., Kyong Min, B., Chul Jung, Y., Park, H., Jeong, Y.-H., & Kim, E. (2013). "Bright illumination reduces parietal EEG alpha activity during sustained attention task". *Brain research*, 2-11.  
<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2013.09.031>