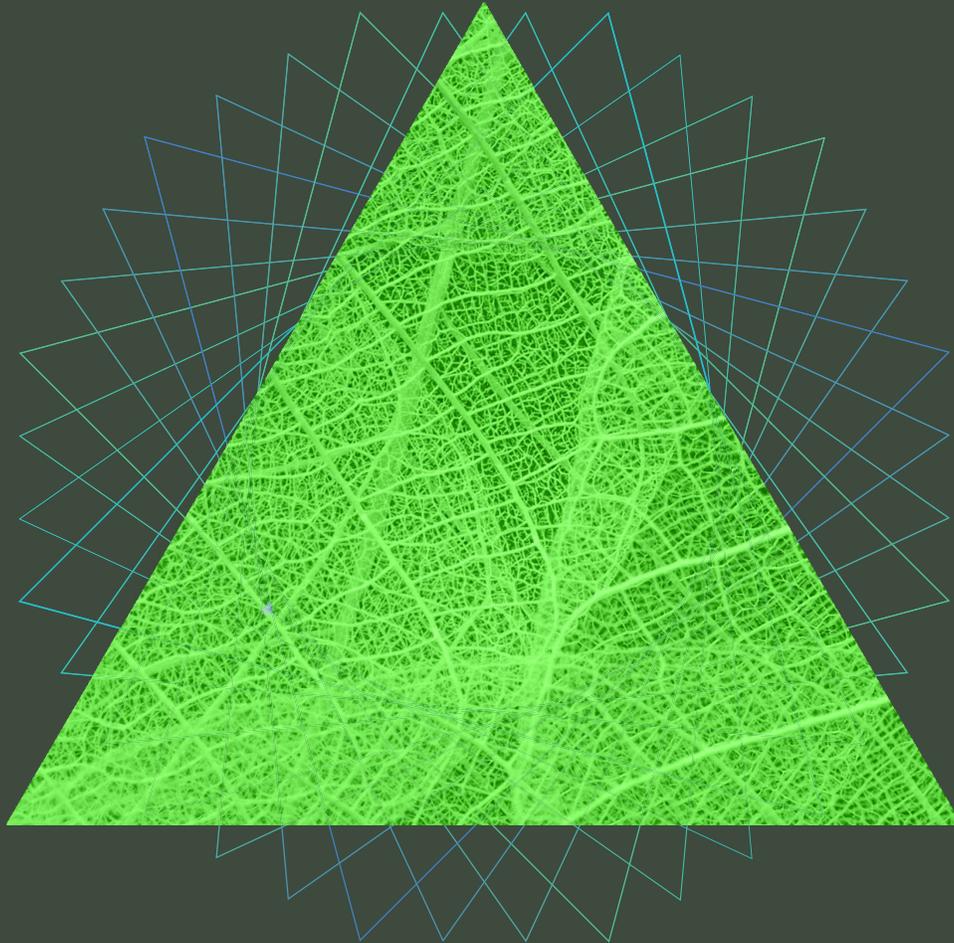


# DISEÑO PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA HABITABILIDAD SEGURA E INCLUYENTE



Arturo Santamaría Ortega  
Jesús Aguiluz León  
Mercedes Ramírez Rodríguez  
Erika Rivera Gutiérrez  
Marcos Mejía López  
Coordinadores



Universidad Autónoma  
del Estado de México

Doctor en Educación  
Alfredo Barrera Baca  
*Rector*

Maestro en Estudios Urbanos y Regionales  
Marco Antonio Luna Pichardo  
*Secretario de Docencia*

Doctor en Ciencias e Ingeniería Ambientales  
Carlos Eduardo Barrera Díaz  
*Secretario de Investigación y Estudios Avanzados*

Doctor en Humanidades  
Juvenal Vargas Muñoz  
*Secretario de Rectoría*

Doctor en Artes  
José Edgar Miranda Ortiz  
*Secretario de Difusión Cultural*

Doctora en Educación  
Sandra Chávez Marín  
*Secretaria de Extensión y Vinculación*

Doctor en Educación  
Octavio Crisóforo Bernal Ramos  
*Secretario de Finanzas*

Maestro en Diseño  
Juan Miguel Reyes Viurquez  
*Secretario de Administración*

Doctor en Ciencias Computacionales  
José Raymundo Marcial Romero  
*Secretario de Planeación y Desarrollo Institucional*

Maestra en Lingüística Aplicada  
María del Pilar Ampudía García  
*Secretaria de Cooperación Internacional*

Doctora en Diseño  
Monica Marina Mondragón Ixtlahuac  
*Secretaria de Cultura Física y Deporte*

Doctor en Ciencias Sociales  
Luis Raúl Ortiz Ramírez  
*Abogado General*

Maestro en Economía  
Javier González Martínez  
*Secretario Técnico de la Rectoría*

Maestro en Promoción y Desarrollo Cultural  
Gastón Pedraza Muñoz  
*Director General de Comunicación Universitaria*

Maestra en Administración Pública  
Guadalupe Ofelia Santamaría González  
*Directora General de Centros Universitarios  
y Unidades Académicas Profesionales*

**DISEÑO PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE  
Y LA HABITABILIDAD SEGURA E INCLUYENTE**

DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES UNIVERSITARIAS  
*Editorial de la Universidad Autónoma del Estado de México*

Doctor en Educación  
Alfredo Barrera Baca  
*Rector*

Doctor en Artes  
José Edgar Miranda Ortiz  
*Secretario de Difusión Cultural*

Doctor en Administración  
Jorge E. Robles Alvarez  
*Director de Publicaciones Universitarias*

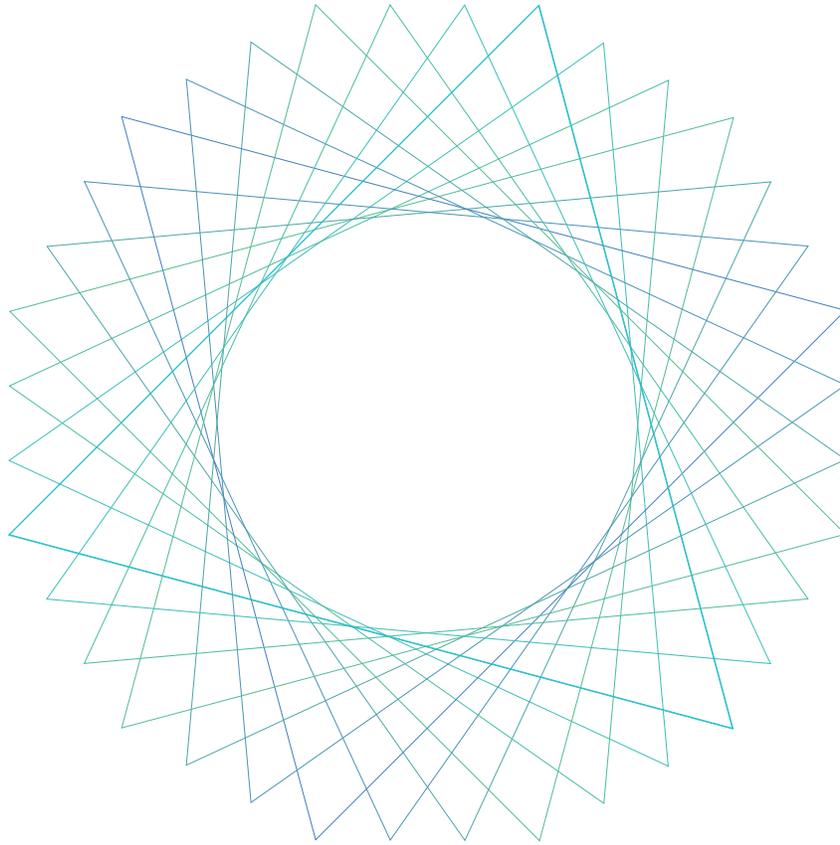
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y DISEÑO

Doctora en Ciencias Sociales  
Martha Patricia Zarza Delgado  
*Directora*

Maestro en Diseño  
Jaime Guadarrama González  
*Subdirector Académico*

Maestro en Comunicación y Tecnología Educativa  
Óscar Cruz Ruiz  
*Subdirector Administrativo*

# DISEÑO PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE Y LA HABITABILIDAD SEGURA E INCLUYENTE



Arturo Santamaría Ortega  
Jesús Aguiluz León  
Mercedes Ramírez Rodríguez  
Erika Rivera Gutiérrez  
Marcos Mejía López  
Coordinadores



Universidad Autónoma  
del Estado de México



*"2020, Año del 25 Aniversario de los Estudios de Doctorado en la UAEM"*

Este libro fue positivamente dictaminado con el aval de pares ciegos, conforme al Reglamento de la Función Editorial de la UAEM.

Primera edición, octubre 2020

*Diseño para el desarrollo sustentable y la habitabilidad segura e incluyente*

Arturo Santamaría Ortega  
Jesús Aguiluz León  
Mercedes Ramírez Rodríguez  
Erika Rivera Gutiérrez  
Marcos Mejía López  
Coordinadores

Universidad Autónoma del Estado de México  
Av. Instituto Literario 100 Ote.  
Toluca, Estado de México  
C.P. 50000  
Tel: (52) 722 277 38 35 y 36  
<http://www.uaemex.mx>



Esta obra está sujeta a una licencia *Creative Commons* Atribución-No Comercial-Sin Derivadas 4.0 Internacional. Los usuarios pueden descargar esta publicación y compartirla con otros, pero no están autorizados a modificar su contenido de ninguna manera ni a utilizarlo para fines comerciales. Disponible para su descarga en acceso abierto en: <http://ri.uaemex.mx>

ISBN: 978-607-633-220-7

Hecho en México

Editor responsable: Jorge E. Robles Alvarez  
Coordinación editorial: Ixchel Díaz Porras  
Corrección de estilo: Enrique Ricardo Garrido Jiménez  
y Noel Isaac Jarquín Alemán  
Diseño: María Guadalupe López Zepeda  
Diseño de portada y formación: Samuel Roberto Mote Hernández



# **DISEÑO DE UN SISTEMA DE INVESTIGACIÓN EN LA ILUMINACIÓN CIRCADIANA PARA ACTIVIDADES ESCOLARES**

## **DESIGN OF A RESEARCH SYSTEM IN CIRCADIAN LIGHTING FOR SCHOOL ACTIVITIES**

Antonio Arellano Hernández  
Gabriel Ángel Rosete Lima

### **Introducción**

La iluminación natural que procede del sol<sup>10</sup>, se expresa en particularidades geográficas. Existe una directa respuesta de los organismos biológicos a esta iluminación, y en consideración directa impacta también a los seres humanos. Debido a las condiciones sociales, económicas, tecnológicas y laborales que estructuran la vida en las ciudades, se han generado desajustes en el flujo “natural” de la biología humana.

Por otro lado, la domótica entendida como el área del diseño que estudia los sistemas de automatización para los espacios arquitectónicos; desarrolla una especialidad que nosotros denominamos domótica iluminativa circadiana, que se encarga del desarrollo de sistemas de iluminación artificial ajustados a los ciclos circadianos de los sitios geográficos específicos y a las diversas actividades humanas en las que se utiliza iluminación artificial.

En la presente propuesta de investigación se propone entonces, innovar el diseño de la iluminación domótica circadiana; es decir, proponer espacios habitables iluminados y ajustados circadianamente, ergonómicos, confortables, y con tendencias saludables.

135

### **Metodología**

El método de investigación consiste en el diseño de los elementos que conforman un sistema domótico aplicado a la iluminación artificial emulando la luz natural y a las diversas actividades humanas que requieren iluminación.

#### **1. Estado del arte de la domótica**

Como una consideración general, en México, la implementación de la domótica está basada en la integración de equipos que provienen de otros países, que están enfocados a aplicaciones escalables, mientras que, en el mundo de la ingeniería particularmente, predomina el discurso de aprovechamiento energético y pocas intervenciones de diseño aplicado al usuario se han consolidado. Hablando directamente de iluminación domótica circadiana, el panorama es aún menor. En esta ausencia de investigación, se propone diseñar para el usuario y se ha escogido la iluminación domótica escolar como un primer dominio de observación en la aplicación de dicha tecnología.

#### **2. Estado del arte de la domótica iluminativa**

La investigación científica a la par con la integración tecnológica de los últimos años ha permitido la innovación en domótica iluminativa circadiana, especialmente para ciertas zonas geográficas estudiadas como el norte de Europa y Estados Unidos, entre otros. En

10. La luz solar es indispensable para sostener la vida de los seres humanos, en la naturaleza, esta iluminación es dinámica y cumple ciertos ciclos transitorios desde su presencia hasta su parcial ausencia, derivado de la rotación del planeta; sus atributos son particulares y dependen de la región geográfica (latitud y longitud) y al paso de los 365 días del año. Estos cambios lumínicos corresponden al principal estimulador que sincroniza a los ritmos circadianos de todos los seres vivos. (Colwell, 2015).

lo particular, al ver las condiciones de intervención domótica en México (IMEI),<sup>11</sup>(Ramírez, 2017), muestran que las tendencias en materia lumínica están enfocadas a la integración con sistemas escalables, basadas en protocolos<sup>12</sup> comerciales. En la revisión del estado del arte, se puede ver que hay una ausencia en el estudio y reflexión específicos en materia de iluminación domótica circadiana para México, por lo tanto, esta parte específica de la domótica, requiere de procesos de investigación.

En los estudios realizados por laboratorios en el extranjero, se está investigando en propuestas propia para vivienda, hospitales, transporte, estaciones de trabajo, entre otros. Considerando sus propias variables ergonómicas, geográficas y sociales; éstas, al entrar en el mercado nacional, no resuelven necesariamente la expectativa circadiana, ya que son introducidas con argumentos comerciales, más que bajo criterios de aplicación para las particularidades endógenas.

### 3. Estado del arte de la investigación circadiana

En paralelo, datos obtenidos del National Center for Biotechnology Information (NCBI 2017), muestra que el 58% de la población de los Estados Unidos es afectada de manera importante por los cambios en su ritmo circadiano<sup>13</sup> en múltiples aspectos, ejemplo: 16% de la población sufre de Season affective disorder (SAD),<sup>14</sup> mientras que el 14% de los adultos son afectados por los winter blues. De 30 a 90 minutos de terapia de luz, puede remediar hasta el 85% de los casos. Mientras que un creciente número de evidencias sugieren una importante correlación entre la desincronización de los ritmos circadianos y diversas enfermedades tumorales, la diabetes, la obesidad y la depresión, de entre otras (Pérez-Padilla, 2017), así como generar cambios psicológicos, fisiológicos, neurológicos y productivos (Folkad, 2003). En México hay datos publicados por la UNAM afirmando que el 45% de la población adulta presenta trastornos circadianos (Jiménez, 2017), Si todo ello fuera similar para la Ciudad de México, se podría hablar de un problema económico y de salud, por lo que debería atenderse de manera inmediata.

Con base en la revisión del estado del arte de la domótica y los ciclos circadianos, se infiere que es una oportunidad de intervención en la arquitectura, dado que la iluminación artificial empleada en el interior de los espacios construidos actuales, emite un espectro electromagnético<sup>15</sup> fijo y constante en color e intensidad, mandando información errónea al cerebro, principal característica asociada con los problemas de salud, ya que dichos sistemas de iluminación no están diseñados para estimular y sincronizar los ritmos circadianos, en las particularidades requeridas durante un día, un mes determinado y un año, agregando las particularidades específicas en la Ciudad de México; por lo tanto, no se cuenta con sistemas de iluminación artificial especializado.

11. En la conferencia, Tendencias tecnológicas en controles de iluminación, Ramírez A. (mayo 2017), comentó las características actuales de la intervención domótica en México, de acuerdo con la asociación mexicana del edificio inteligente y sustentable A.C. (IMEI), México.

12. Medios de comunicación entre software y hardware. Principalmente abordados por la empresa ZigBig co.

13. Son los ritmos que rigen a todo ser vivo en sus funciones fisiológicas, como el comer, dormir, hacer deporte, y detona la química necesaria para estar más activos por la mañana o por la tarde.

14. Trastorno afectivo estacional, El trastorno afectivo estacional, depresión estacional, depresión invernal o tristeza en tiempo de invierno, es un trastorno del estado de ánimo caracterizado por la presencia de síntomas de depresión durante una cierta época del año, generalmente en invierno. Regularmente, los síntomas se manifiestan al final del otoño o principios del invierno y desaparecen durante el verano. Un tipo menos común ocurre durante el verano; comienza al final de la primavera o inicios del verano y desaparece durante el invierno.

15. Se denomina espectro electromagnético a la distribución energética del conjunto de las ondas electromagnéticas. Referido a un objeto se denomina espectro electromagnético o simplemente espectro a la radiación electromagnética que emite (espectro de emisión) o absorbe (espectro de absorción) una sustancia. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a digital. Los espectros se pueden observar mediante espectroscopios que, además de permitir ver el espectro, permiten realizar medidas sobre el mismo, como son la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

Tal intersticio en el conocimiento actual muestra la importancia de diseñar un sistema de investigación en iluminación domótica circadiana especializado en México.

En el diseño arquitectónico, el diseño industrial y en el diseño gráfico (por mencionar algunos), se tienen presentes los conceptos básicos de iluminación, dando vida al espacio, al objeto y al usuario, en este sentido, el diseñador y el ergonomista son partes fundamentales para entender los beneficios de la luz natural en interacción con el ocupante o usuario. Es aquí, en donde el uso de las nuevas tecnologías puede hacer una diferencia en la apropiación de un espacio ergonómico altamente confortable y con tendencias saludables, otorgando al habitante una mayor calidad de vida y un alto sentido de bienestar en su espacio.

#### **4. Estado del arte de la investigación en domótica iluminativa circadiana enfocada por actividad humana**

Un ambiente interior óptimo puede aumentar el confort, productividad, salud y bienestar (Roulet, 2006) (Fisk, 2000). Varios estudios han demostrado que una relación entre el ambiente de trabajo con la satisfacción laboral general, esto representa menos ausencias por enfermedad y un mayor compromiso de los empleados (Veitch J., 2007) (Carlopio, 1996). Dentro de las edificaciones, las condiciones de iluminación, como un aspecto del ambiente de trabajo, inciden en el estado de ánimo de los trabajadores (Veitch J., 2011), generalmente están asociadas con una iluminancia de trabajo más alta, uniformidad de iluminación, ausencia de deslumbramiento, luz direccionalidad (relación de horizontal y vertical), así como la presencia de una ventana (Veitch, 2005). Acceso a la luz del día en general, se prefiere más que el uso de lámparas para iluminar el espacio habitable (Roche, 2000). Para las dimensiones psicológicas, la luz natural es más aceptada que la artificial, dado que otorga mayor confort visual y apariencia ambiental, por tanto, mayor habitabilidad (Heerwagen, 1986) (Gifford, 1993).

La luz brillante policromática durante el día aumenta el estado de alerta y el rendimiento cognitivo (Redman, 2003) (Vandewalle, 2006). Además, la exposición a la luz de color brillante también mejora estado de ánimo y vitalidad en los trabajadores de oficina durante el invierno en el hemisferio norte (Partonen, 2000). Esto, sumado al estudio y aplicación de las propiedades físicas de la iluminación como la temperatura de color y la composición espectral de la luz durante el día. Atmosferas ambientales de iluminación con menos de 2700 grados Kelvin y 100 lux, son subjetivamente más relajantes que con mayor iluminación de 4000 grados Kelvin y 1330 lux que son colores más fríos (Lang, 2009), también se ha encontrado que el uso de una frecuencia menor y una intensidad mayor, son los encargados de estimular el sistema de alerta (Wetterberg, 1993). Dos estudios realizados en puestos de trabajo de oficina, aplicados sobre varias semanas, mostraron que, con azul enriquecido a 17,000° Kelvin, aplicado durante el día, los trabajadores se sintieron con un mayor estado de alerta y rendimiento, y menos somnolencia, en comparación con la luz blanca c 4000° K y 2900° K (Viola, 2008) (Mills, 2007).

#### **5. Desarrollo de un experimento de domótica iluminativa circadiana escolar, como primer caso de estudio de esta domótica**

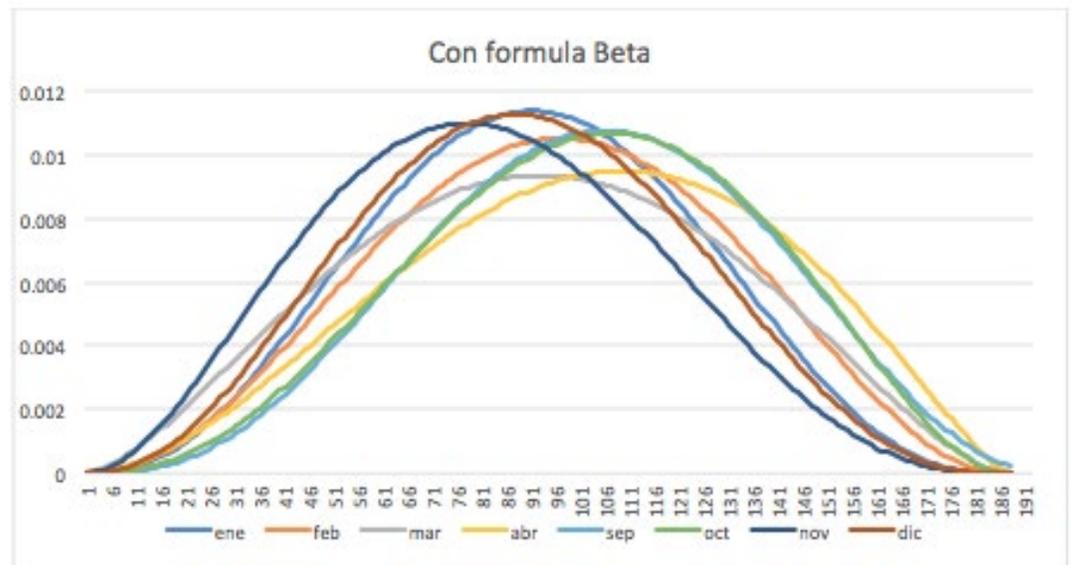
La presente investigación consta de tres etapas principales de estudio y observación que dan soporte a la propuesta. Por un lado, se trata de la toma y análisis de datos duros referente a las propiedades lumínicas del fenómeno natural procedente del sol y que irradian en un punto geográfico determinado.

Por otro lado, el análisis de tal información, que está dando pie a la instrumentación y control de una serie de propuestas de ajustes en un sistema de iluminación domotizado con tecnología LED<sup>16</sup> y que emula dichas propiedades visuales.

Finalmente, la propuesta de investigación pretende, la instalación de dichos sistemas de iluminación y someter a un grupo de individuos muestra en un ambiente controlado (escolar), de tal manera que se puedan medir los resultados planteados en términos de ergonomía y confort.

### De los datos duros

En el momento actual se ha diseñado un subsistema de medición de la iluminación basado en los sensores TCS3414 y BHI750FVI que se ha colocado en el sitio de estudio y se han tomado datos de la iluminación durante ocho meses. En este sentido, se está diseñando un modelo matemático capaz de emular las transiciones lumínicas en el espectro visible, bajo el modelo de color RGB<sup>17</sup>+ W<sup>18</sup> y que cumplirá con las transiciones de los 365 días del año, de forma particular como se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica que muestra la variabilidad en las características lumínicas durante ocho meses.

Diseño propio. Rosete 2018

De la obtención de cada uno de los datos levantados con la instrumentación descrita anteriormente, se genera la información estadística que permite proponer las transiciones dinámicas de iluminación con interpretaciones ergonómicas, ya que, debido a la variabilidad, intensidad y componente térmico de la luz del día, puede

16. Un diodo emisor de luz o led (también conocido por la sigla LED, del inglés light-emitting diode) es una fuente de luz constituida por un material semiconductor dotado de dos terminales. Se trata de un diodo de unión p-n, que emite luz cuando está activado. Si se aplica una tensión adecuada a los terminales, los electrones se recombinan con los huecos en la región de la unión p-n del dispositivo, liberando energía en forma de fotones. Este efecto se denomina electroluminiscencia, y el color de la luz generada (que depende de estudios la energía de los fotones emitidos) viene determinado por la anchura de la banda prohibida del semiconductor).

17. RGB (sigla en inglés de red, green, blue, en español «rojo, verde y azul»), es un modelo de color basado en la síntesis aditiva, con el que es posible representar un color mediante la mezcla por adición de los tres colores de luz primarios

18. W por su sigla en inglés White (blanco en español).

también conducir a problemas serios. Lo anterior puede causar un incómodo nivel de deslumbramiento (WKE, 2005), (Velds, 2002), o hacer que un lugar exija grandes cantidades de energía de enfriamiento / calentamiento en función a la captación de radiación natural que entra al edificio y por factores psicológicos.

## De los usuarios

Es importante generar un ritmo de vida constante en los seres humanos, esto tiene que ver con una calidad de vida y características de actividades habituales con frecuencia rítmica, dado que el cambio en estas actividades (principalmente en condiciones de dinámica de ciudad), provocan destiempo o arritmia en el suministro natural de la bioquímica en el cuerpo. La exposición a luz brillante artificial durante la noche suprime la secreción de melatonina<sup>19</sup>, aumenta el problema de inicio del sueño y aumenta el estado de alerta. La desalineación circadiana causada por la exposición crónica a ritmos diferenciales o arritmias puede tener efectos negativos sobre las funciones psicológicas, cardiovasculares y / o metabólicas. también causa la interrupción de la fase circadiana. También se ha informado que las longitudes de onda de luz más cortas alteran preferentemente la secreción de melatonina y provocan cambios de fase circadiana, incluso si la luz no es brillante.

Por ello, el someter a un número de muestras de personas, habitando un espacio controlado (como se ha elegido), en una zona interior dedicada a actividades escolares; da pie al estudio para la integración de esta tecnología, pensando principalmente en que el ser humano es un ser adaptado, y su vida, está integrada por diversas actividades durante el día y la noche, algunas de ellas, en forma repetitiva. En esa tónica. Cada actividad requerirá de un tipo de iluminación en particular y es la domótica, el recurso que puede apoyar en otorgarla.

En este sentido, se cuenta con los permisos para el establecimiento de experimento en domótica iluminativa<sup>20</sup> escolar en el que se propondrá un sistema de iluminación circadiano escolar (SICE). En esta fase se desarrollan instrumentos de medición del impacto del SICE como técnicas proyectivas provenientes de la psicología de la percepción, de las mediciones de confort provenientes de la ergonomía, para ser aplicadas a escolares y profesores de las aulas bajo el experimento.

## Resultados y conclusiones

Como se ha mencionado anteriormente, el ser humano requiere indispensablemente de una iluminación natural o “naturalizada”. En esta compleja ecuación urbana, no siempre es posible darle a los espacios arquitectónicos tal recurso, por lo que se ven reducidas sus propiedades de habitabilidad, sin embargo, se plantea la posibilidad de emular este recurso por medios artefactuales y abrir la discusión referente a las consecuencias y aplicabilidad de los resultados en el presente estudio, para el diseño, construcción y rehabilitación de los espacios construidos y adaptados para las actividades particulares humanas, desde una práctica responsable enfocada en el punto de vista arquitectónico, ergonómico y de confort; tomando como punto de partida, los resultados del estudio antes mencionados (de los datos duros).

19. Es una hormona encontrada en seres humanos, en concentraciones que varían de acuerdo al ciclo diurno/nocturno, y participa en una gran variedad de procesos celulares, neuroendocrinos y neurofisiológicos, como controlar el ciclo diario del sueño.

20. Sistemas automatizados para el control inteligente de la iluminación en los espacios arquitectónicos.

## Fuentes de consulta

- Carlopio, J. (1996). Construct validity of a physical work environment satisfaction questionnaire. *Journal of Occupational Health Psychology*, 330–344.
- Colwell, c. (2015). *Circadian Medicine*. California: Wiley blackwell.
- Fisk, W. (2000). Review of health and productivity gains from better IEQ: Proceedings of Healthy Buildings. Helsinki University of Technology.
- Folkad, s. (2003). Shift work, safety and productivity. *Occupational Medicine*.
- Gifford, R. (1993). End-users knowledge, beliefs and preferences for lighting. *Journal of Interior Design*, 15–26.
- Heerwagen, J. (1986). Lighting and psychological comfort. *Lighting Design and Application*, 47–51.
- Jiménez, U. (2017). 45% de la población en México tiene mala calidad de sueño: UNAM. Mexico: Dirección General de Comunicación Social, UNAM.
- Lang, E. (2009). performance and subjective correlates of different lighting conditions. *Lighting Research and Technology*, 349–360.
- Mills, P. (2007). The effect of high correlated colour temperature office lighting on employee wellbeing and work performance. *Journal of Circadian Rhythms*, 2–10.
- Partonen, T. (2000). Bright light improves vitality and alleviates distress in healthy people. *Journal of Affective Disorders*, 55–61.
- Pérez-Padilla. (2017). Estacionalidad y variación circadiana del número de muertes en México. *NCT Neumología y Cirugía de Tórax*, 315-320.
- Ramírez, A. (2017, Mayo 22). Tendencias tecnológicas en controles de iluminación. Retrieved from <https://imei.org.mx>: <https://imei.org.mx/2017/06/14/tendencias-tecnologicas-en-controles-de-iluminacion/>
- Redman, J. (2003). Daytime exposure to bright light, as compared to dim light, decreases sleepiness and improves psychomotor vigilance performance. *Sleep*, 695–700.
- Roche, L. (2000). Occupant reactions to daylight in offices. *Lighting Research and Technology*, 119–126.
- Roulet, C.-A. (2006). Perceived health and comfort in relation to energy use and building characteristics. *Building Research*, 467–474.
- Simon, F. (2016). Shift work, safety and productivity. *Occupational Medicine*, 95-101.
- Vandewalle, G. (2006). Daytime light exposure dynamically enhances brain responses. *Current Biology*, 1616–1621.
- Veitch. (2005). Satisfaction with lighting in open-plan offices. *COPE field findings*, 414–417.
- Veitch, J. (2007). A model of satisfaction with open-plan office conditions: COPE field findings. *Journal of Environmental Psychology*, 177–189.
- Veitch, J. (2011). Linking lighting appraisals to work behaviors. *Environment and Behavior*, 198–214.
- Velds, M. (2002). User acceptance studies to evaluate discomfort glare in daylight rooms. *Solar Energy*, 95–103.
- Viola, A. (2008). Blue-enriched white light in the workplace improves self-reported alertness, performance and sleep quality. *Scandinavian Journal of Work*, 297–306.
- Wetterberg. (1993). Melatonin, cortisol, EEG, ECG and subjective comfort in healthy humans: Impact of two fluorescent lamp types at two light intensities. *Lighting Research and Technology*, 71–81.
- WKE, O. (2005). Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. *Solar Energy*, 140–158.