



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

# ¿Se puede hacer una ciudad inteligente?



## Coordinadores:

María Eugenia Molar Orozco

Jesús Velázquez Lozano

María Genoveva Vázquez Jiménez

# ¿SE PUEDE HACER UNA CIUDAD INTELIGENTE?

**Coordinadores:**

**Dra. María Eugenia Molar Orozco**

**MDA. Jesús Velázquez Lozano**

**MDA. María Genoveva Vázquez Jiménez**

Como parte de la política del Departamento Editorial de la Dirección de Investigación y Posgrado de la Universidad Autónoma de Coahuila, la presente obra, así como sus contenidos fueron sujetos al arbitraje científico de doble ciego y una prueba por similitud, garantizando así que el material es académicamente pertinente y conveniente para su publicación.

D.R. © Universidad Autónoma de Coahuila

Boulevard Venustiano Carranza s/n

Colonia República, C.P. 25280

Saltillo, Coahuila, México

ISBN: 978-607-506-385-0

## Caracterización para una Iluminación Domótica Circadiana en CDMX

Gabriel Ángel Rosete Lima  
Antonio Arellano Hernández

### Introducción

La domótica entendida como el conjunto de técnicas de automatización del espacio construido y que complementa a la arquitectura clásica, ha impactado de manera importante la automatización de factores de confort en todos sus niveles estéticos, lumínicos, acústicos, climáticos, percepción de la seguridad y aprovechamiento energético. Ella se ha popularizado en los últimos años, siendo los Estados Unidos, Canadá y el norte de Europa, los principales exponentes y usuarios de estas tecnologías. Debido a sus altos costos de adquisición e instalación (Sophos, 2017), la tendencia en el uso de la domótica en países como México, Brasil y Chile, se encuentra dirigida principalmente hacia el ahorro energético en edificios de gran envergadura, dejando de lado el confort y la seguridad (IMEI),<sup>1</sup> (Ramírez, 2017). En México, pese al gran número de grandes y medianas ciudades, a la alta densidad demográfica urbana y a la riqueza, la domótica se encuentra en un bajo nivel de uso (Sophos, 2017).

La disponibilidad actual de los avances tecnológicos de todo tipo crea la posibilidad de integrar y adaptar aplicaciones domóticas a bajo costo para la automatización de la vivienda (Augusto, 2006). La socialización y masificación de las tecnologías de la información; principalmente el teléfono inteligente, la computadora, el Internet, entre otros, muestra que la tecnología imbuye de forma importante todos los ámbitos de nuestra vida diaria. La arquitectura como profesión, no es ajena a esta integración tecnológica la búsqueda de soluciones de automatización en beneficio del habitante.

Una de las grandes áreas de investigación en la domótica, es la adaptación inteligente de los espacios construidos. El interiorismo, cuenta ya con una suma importante de dispositivos tecnológicos para la manipulación de los ambientes en el espacio habitado; tales como iluminación, temperatura, humedad, ventilación, acústica, etc. Estos son sólo algunos ejemplos de aplicación para mejorar el confort. Sin embargo, en este análisis de opciones tecnológicas, se ha encontrado un intersticio en el conocimiento y las tecnologías de la iluminación artificial, provocado por las tendencias del aprovechamiento energético, por una parte, y las posibilidades estéticas que se puede lograr con los recursos disponibles en el mercado, por otra. A continuación, se presenta una breve reseña de la iluminación artificial para contextualizar el presente trabajo.

Todo empieza cuando el ser humano (*Homo sapiens*), habita este planeta. En un sentido especialmente histórico, la suma de sus actividades se encuentra definida por las condiciones de la luz procedente del sol y de las posibilidades geográficas que le secundan, con los que encuentra refugio. Con el paso de las generaciones, la biología del ser humano se adapta a los cambios estacionales durante el año, situación que lleva a su organismo a adoptar sistemas de sincronización fisiológica, a partir de diversos factores ambientales como la temperatura, la humedad, los sonidos, los cambios gravitacionales y la luz diurna, entre otros. Como ha sido ilustrado, la evolución social condujo a que, en determinadas condiciones, el hombre se sedentarizara, logrando que algunos grupos humanos desarrollaran capacidad constructiva y, con ello, la formación de espacios habitados, iluminados de manera, que hoy nos parecen modestos, integrando en sus vidas lámparas para compensar la penumbra de las construcciones.

---

<sup>1</sup> 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.

Con el invento de la bombilla eléctrica en 1880, se inicia el abandono de fuentes de iluminación sustentadas en aceites naturales, petróleo, maderas, etcétera y una transformación profunda en la reformulación y extensión horaria de las actividades humanas. Paralelamente, el desarrollo del resto de ramas industriales, se da paso a la creación de espacios arquitectónicos de gran envergadura. De ahí en adelante, se ha visto una evolución tecnológica que pasa de los tubos catódicos, a las actuales luminarias LED; mismas que hoy permiten la ambientación lumínica de espacios arquitectónicos que han cambiado la administración de las actividades humanas al interior de las edificaciones. La generalización de los espacios iluminados artificialmente ha cambiado la lenta adaptación del ser humano a las antiguas formas de vida ligadas a la iluminación proveniente de la radiación solar.

Ahora bien, al sistema biológico humano le llevo miles de años generar la sincronización de los ritmos circadianos y las posibilidades técnicas y tecnológicas irrumpieron esta condición neurológica en unas cuantas décadas; esto ha creado, según los especialistas de la medicina, toda una serie de anomalías en los ritmos de la vida de los humanos. Una de las principales anomalías se refiere a la arritmia; misma que ocurre al bloquear los principales elementos estimuladores del reloj biológico en sus diferentes particularidades de segregación la química en el cuerpo. Esta alteración en la segregación de la química corporal está vinculada a la compleja maquinaria biológica humana. La categoría ritmos circadianos permite explicar el vínculo entre iluminación natural y ciertas funciones psico-fisiológicas.

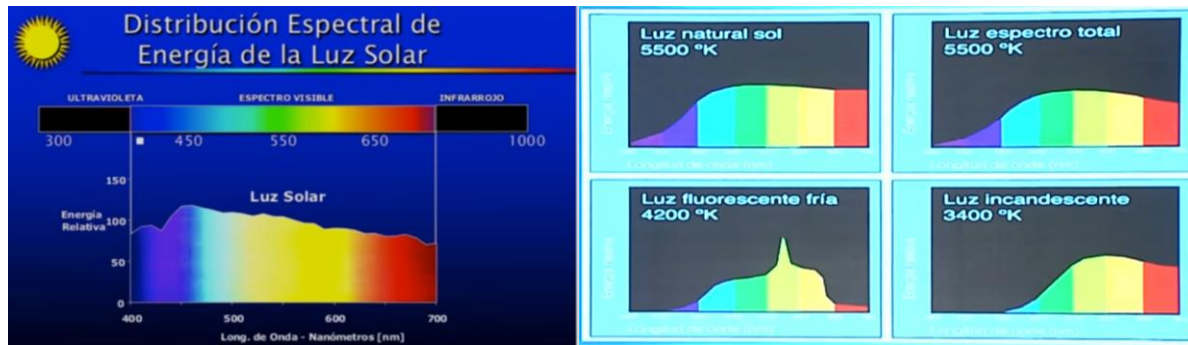
Los ritmos circadianos son los ritmos que rigen a todo ser vivo en sus funciones psico-fisiológicas como el dormir, despertar, comer; detona la química necesaria para estar más activos por la mañana o por la tarde, dependiendo del individuo, etc. (Dolsen, 2018). Estos ciclos y funciones están siendo estudiados principalmente en el campo de la medicina neurobiológica, encontrando que los principales estímulos de sincronía son: la luz solar, la temperatura y la humedad, de entre otras (Colwell, 2015). De esta manera, el organismo recibe las señales naturales y en consecuencia actúa bajo estos parámetros. El tiempo de inicio y duración de los ciclos circadianos van cambiando de acuerdo a la edad de las personas, por ejemplo: el horario para dormir en un bebe se va sincronizando paulatinamente al que la mayor parte de la población ocupa, así, cuando se es niño, se suele dormir unas 10 horas, de adulto lo recomendable son 8 horas y los ancianos duermen en promedio 6 horas, pero cada persona es particularmente diferente, en especial cuando se analizan sus actividades y sus hábitos de vida (Knowlden, 2017).

Los elementos de la domótica, las iluminaciones natural y artificial y los ritmos circadianos hasta aquí presentados, permiten contextualizar las investigaciones que a continuación se presentan y que están orientados hacia una domótica iluminativa circadiana.

Hacia una domótica iluminativa circadiana

Diferencias entre iluminación y luz natural. El problema de investigación.

De conformidad con Sack (2007), las características que se tienen en los espacios arquitectónicos actuales se pueden ver que los elementos generadores de luz genéricos en el mercado distan mucho de entregar un espectro luminiscente con respecto a la luz natural, figura 1, sin considerar los cambios lumínicos que la luz natural ejerce durante todo el día. Siendo este cambio, el recurso principal para detonar los estimuladores que sincronizan las actividades fisiológicas del ser humano y gran parte de su comportamiento (Sack, 2007).



**Figura 1.** Muestra fotométrica del espectro lumínico generado por las fuentes de luz comercial con respecto a la luz natural.

En esta serie de áreas del conocimiento que implican hablar de iluminación circadiana, se debe reconocer los muchos estudios que se están realizando en torno a los elementos paralelos que lo componen, por ejemplo, las condiciones favorables en los umbrales del confort en la arquitectura (Meythaler, 2017), la psicología ambiental (Uzzell, 2017), los aspectos de habitabilidad en sus diferentes especialidades, así mismo, el cuidado médico a partir de los ciclos circadianos (Ferrarin, 2017), los rangos de operación de los dispositivos genéricos de la domótica como su funcionalidad técnica y tecnológica (Tang, 2016).

La arquitectura a su vez, como disciplina, ha adoptado muchos de estos resultados en beneficio de los usuarios, aunque de manera estática y/o permanente, no obstante, la integración del concepto “domótica” permite la manipulación de los elementos como variables, en todas sus características; abriendo un abanico exponencial de posibilidades arquitectónicas, mismas que afectarán al usuario de diferente manera. Si ésta manipulación de ambientes pudiera ser trasladada a la vivienda, enfocadas a la sincronización de los ciclos circadianos en el usuario, como algunas aplicaciones básicas lo dejan ver (Wright, 2015), y de manera simultánea, entregar el control de las mismas al usuario, el arquitecto podría atender importantes aspectos de salud física, neurológica y psicológica (Kunz, 2017), (Simon, 2016). Más aún, el atender esta condicionante escénica considerando las variables particulares que vulneran y desestabilizan los ciclos circadianos en la Ciudad de México, podría evitar (a través del espacio arquitectónico), cualquier salto que interrumpa la terapia escénica. Derivado de ello y dadas las condiciones actuales, es preciso considerar los aspectos inherentes a la transformación del entorno no natural (espacio arquitectónico), en afectación directa con la sincronización del sistema circadiano del individuo.

#### Sincronización del Reloj biológico en el ser humano, el papel de la luz natural

El ritmo circadiano es regulado por el reloj biológico localizado en el cerebro; el sistema supraquiasmático es el órgano que recibe la información procedente de la retina y detona las señales que coaccionan la química del cuerpo. Este mecanismo, determina los momentos del día en los que se debe activar la glándula pineal, que tiene la función de generar y secretar la melatonina. La secreción o supresión de melatonina es el factor que sincroniza al reloj biológico. La información gestionada por el sistema supraquiasmático para la supresión o generación de melatonina se encuentra inherente en las propiedades luz natural captada por el ojo. Esta información se encuentra relacionada, principalmente, con la intensidad y color de la iluminación. Es la luz azul, cuyas ondas miden entre 460nm y 480 nm la que más efecto de supresión en melatonina tiene. Por otro lado, a mayor intensidad de luz, mayor supresión de melatonina (Colwell, 2015).

Por otro lado, la hora del día a la que se debe de suprimir la melatonina cuenta para que los procesos circadianos del hombre (ente biológico), se den de forma saludable desde el punto de vista psicológico y fisiológico, si se suprime al medio día, se pueden generar efectos nocivos para la salud. Si la melatonina se suprime unas horas después del ocaso, los efectos de la salud serán positivos. Por tanto, la hora del día en

la que se suprime la melatonina es clave para mantener los procesos circadianos del hombre funcionando saludablemente (Mariana, 2017).

Además, Se ha comprobado, que la duración de luz intensa y azul incidiendo en el ojo también afecta a la supresión de melatonina. Por otro lado, si luz de baja intensidad y de colores verdes amarillentos inciden en el ojo (luz considerada no circadiana), durante largo tiempo (Más de 4 horas), ésta puede llegar a tener efectos de supresión de melatonina y modificar los patrones de los ciclos circadianos. Por tanto, la duración de la luz incidente al ojo es también determinante para los patrones de los ciclos circadianos (Miranda, 2010).

La distribución espacial de la luz también cuenta. Se ha comprobado que, si la luz se distribuye preferentemente hacia las áreas inferiores de la retina, la supresión de melatonina será mayor que si se distribuye hacia las áreas superiores. Por lo que se deben considerar las características inherentes en la luz que estimulan al sistema circadiano del hombre: 1<sup>a</sup>. Intensidad (luz intensa: a partir de 1000 luxes), 2<sup>a</sup>. Color (460nm-480nm), 3<sup>a</sup>. Hora del día en el que incide la luz en el ojo, 4<sup>a</sup>. Tiempo de incidencia de la luz en el ojo, 5<sup>a</sup>. Distribución espacial de la luz (Micic, 2016).

Estas características varían durante el día si es luz natural. El ritmo circadiano del hombre se ha adaptado a esta variación y es la información variable inherente en la luz natural la que le indica al cerebro cuando generar melatonina y cuando suprimirla. Si esta información fuera constante (como es el caso de los sistemas de iluminación artificial usados actualmente en la mayor parte de los espacios arquitectónicos), entonces la melatonina se produciría o se suprimiría constantemente. Por tanto, los procesos psico-fisiológicos tendrían un “comportamiento” irregular (Wang, 2017). Todo esto, permite ver un panorama general de lo importante que es la luz para el ser humano y dado que en las ciudades principalmente, se suele pasar más de 10 horas en expuestos a la iluminación artificial.

#### Arritmia de los ritmos circadianos y vida en la ciudad

Los humanos han evolucionado bajo la influencia de la luz natural en un ciclo de luz y parcial oscuridad. En el humano, la piel proporciona una capa de pigmentación que protege de los más altos índices de radiación en la luz de día. También se han desarrollado una serie de respuestas fisiológicas a las diferentes características de luz natural. Esta luz era la principal fuente de iluminación hasta que los sistemas artificiales lograron adaptar los espacios arquitectónicos para realizar actividades de manera ergonómica y comfortable. su confiabilidad y asequibilidad se fueron dando conforme la tecnología fue avanzando.

La radiación solar se filtra a través de la atmósfera y en la superficie de la tierra alcanzan longitudes de onda en un rango de 200-4000 nm; algunos visibles y algunos invisibles para el ojo humano, la porción de espectro a al que el ojo es sensible comúnmente conocido como luz es electromagnético de radiación con una longitud de onda en el rango de aproximadamente 380 nm a aproximadamente 780 nm dependiendo las características propias del individuo. La radiación con longitud de onda entre 100nm y 400nm se llama radiación ultravioleta (UV) y generalmente se divide en UV-C (200 - 280 nm), UV-B (280 - 315 nm) y UV-A (315 - 400 nm). Mientras que la radiación con longitud de onda entre 780 nm y 1 mm se llama infrarrojo (IR) UV e IR no son invisibles para el humano.

La luz del día es la radiación solar, visible para el ojo humano, emitida por el sol, la duración del día depende de nuestra ubicación en la tierra y la época del año. Las actividades productivas se realizaban cotidianamente durante el día; actualmente se llevan a cabo a cualquier hora y con apoyo de iluminación artificial, sin embargo, últimamente se han hecho diversas investigaciones al respecto de esta relación de propiedades físicas naturales de luz solar y los espacios en los que se llevan a cabo las actividades productivas humanas, encontrando que la luz natural proporciona una gran variedad de estimulaciones bioquímicas durante el día, adicionalmente se ha comprobado que la luz del día reduce el estrés y aumenta la productividad (MBC, 2005), (Boyce, 2003), (Heschong, 2003). Se ha encontrado que el clima en general influye a la salud y el estado de ánimo de las personas (Denissen, 2008), (Watson, 2000).

Sin embargo, debido a la variabilidad, intensidad y componente térmico de la luz del día, puede también conducir a problemas serios. 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.

En otra materia al paralelo, se puede encontrar que las propiedades de la radiación se administran cada vez más en casos particulares y estudiados como un tratamiento no farmacológico para la atención de una variedad de problemas relacionados con la salud, incluidos problemas de la piel (tratamiento con radiación UV), trastorno afectivo estacional (SAD), depresión, jetlag, trastornos del sueño en el ritmo circadiano, disturbios y problemas de comportamiento (Hoof J, 2012). La terapia de luz consiste en la exposición a la luz natural o a rangos específicos espectros de radiación en exposiciones controladas de tiempo e intensidad. A mediados del siglo pasado, era común ver que, tiempos de asoleamiento fueran parte del tratamiento de la tuberculosis (Hobday, 1997)

La Organización Mundial de la Salud define a la salud como 'un estado de físico, mental y de bienestar social, es interesante observar que no es simplemente la ausencia de enfermedades (WHO, 1946). Al tratar de interpretar las propiedades de la luz natural, se ha concluido que esta, afecta de manera importante a la salud humana, encontrando una importante correlación con ausentismo, reducción del rendimiento etc. cuando se suministra adecuadamente se pueden ver beneficios directos a la fatiga, alivio del SAD, disminución de la depresión diversos síntomas, mejores condiciones de la piel, mejor visión, impacto positivo en el comportamiento, alteraciones observadas en la enfermedad de Alzheimer y muchas otras ventajas de salud.

Es importante procurar un ritmo de vida equilibrado en los seres humanos, esto tiene que ver con una calidad de vida y características de actividades habituales con frecuencia rítmicas, 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, 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.

La domótica iluminativa circadiana, se encuentra en sintonía con el interés de procurar un ritmo de vida equilibrado, por tanto, es importante abrir la discusión referente a las consecuencias y aplicabilidad de los resultados en los estudios referidos anteriormente para el diseño, construcción y rehabilitación inteligente de los espacios construidos y adaptados para las actividades humanas desde una práctica responsable con la perspectiva arquitectónica y el Smart Home.

#### Investigación en domótica iluminativa circadiana

La investigación de una domótica iluminativa en la perspectiva del tema señalado en el apartado anterior se ha diseñado en dos fases, que corresponden al factor luz natural y al de iluminación circadiana domótica. La primera, consiste en implementar la observación y caracterización del fenómeno lumínico natural en un punto geográfico; la segunda, en emular el fenómeno lumínico natural por medios artificializados en los espacios construidos, de conformidad con las actividades humanas específicas.

En lo que resta de la presente exposición se exponen los resultados de la primera fase de la investigación y que corresponden con la observación y caracterización lumínica natural, lograda en un punto geográfico del área metropolitana de la CDMX.

¿Qué significa observar? La respuesta en esta investigación parte de un problema tecnológico necesario de resolver para obtener la observación del fenómeno que permita posteriormente su caracterización. De este



modo, la primera fase de la investigación se compone de tres momentos. La primera se concentra en el desarrollo instrumental adecuado para la correcta observación del fenómeno lumínico natural, la segunda en la observación que consiste en la toma de datos anualizada y finalmente, la tercera, que consiste en la caracterización de la marcha diaria del fenómeno luminoso natural en un ciclo de traslación anual del punto de observación sobre el sol.

#### Observación y caracterización de la iluminación natural diaria en un punto geográfico

Para tal efecto, la observación se refiere a la caracterización de las propiedades lumínicas durante las 24 horas de los 365 días del año, para tomar las consideraciones propias de la variable de estudio (luz natural). En el transcurrir del ejercicio, se pudo notar la necesidad de complementar en instrumento de observación para obtener lecturas directas al origen lumínico y particularmente, con el diseño propio e implementación de un sensor fototrópico como se muestra más adelante. Haciendo recolección de datos al tiempo (cada 20 segundos), horario, color de temperatura (Grados Kelvin K°), intensidad (lux lx); dado que esta, es la base para el diseño de la emulación lumínica domótica a la que está encaminada la investigación.

Entender que la caracterización de las propiedades lumínicas naturales en cada punto geográfico de nuestro planeta se convierte en la base de investigación, sin embargo, la obtención de datos bajo los métodos clásicos de observación, no precisamente son representativos para el estudio que se llevó a cabo. Se entendió que la iluminación solar tiene una marcha durante el día, y esta, es diferente en los 365 días del año, por lo que debía seguirse de manera directa al sensor, en cada momento de la secuencia diurna. Al ser, esta iluminación circadiana una práctica geográfica, debe ser situada en puntos del globo terrestre, que den la información suficiente para ensayar posteriormente en espacios iluminativos domóticos (inteligentes),

La inteligencia de este sistema propuesto reside en la emulación de los ciclos naturales luminosos a través de instrumentalización luminiscente con emisión de 380nm a 480nm, como ofertas a los usuarios de espacios arquitectónicos en el interés de estimular su confort. Para ello, el objetivo de conocer las características propias de luminancia en un punto geográfico determinado (19.550231, -99.040717), en sus propiedades lumínicas de intensidad y color de temperatura, hace uso del componente TCS3414, para censar el color de iluminación previsto; este es un sensor de tipo fotocelda que tiene una respuesta colorimétrica en el código de color RGB, arroja información en 16 bits, lo que permite identificar cada señal recogida en el mapa de coordenadas RGB como se muestra en la figura 2. Así mismo, se hace uso del componente BH1750FVI que cuenta con una resolución de 16 bits para medir la intensidad lumínica, este sensor cuenta con un rango 0.11 a 100,000 luxes por lo que es uno de los más precisos en el mercado, su funcionamiento es muy simple y solo recoge la señal lumínica en un punto y la manda a un procesador lógico que la convierte en una señal digital de 16 bits, como se puede ver en la siguiente figura 3.

La función básica del sensor TCS3414 es recoger la señal lumínica individual de cada color, que es censado por grupos, cuatro celdas individuales para un total de 16 muestras por pulso (cuatro muestras de cada color X cuatro colores), la arquitectura del sensor está definida para que haga la toma del color y la pase a un procesador lógico que se encargará de convertir la señal recogida a un pulso digital.

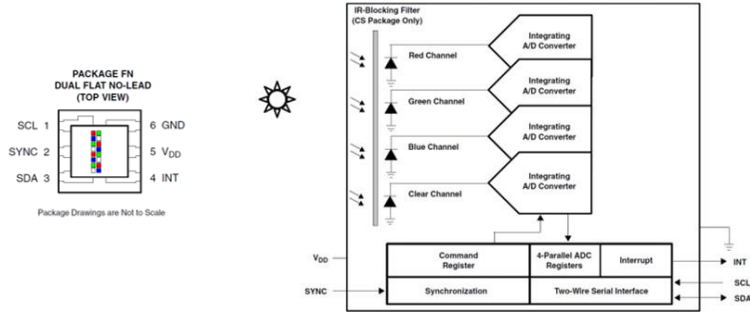


Figura 2. Muestra el sensor TCS3414 y su esquema de funcionamiento (Texas Instrument)

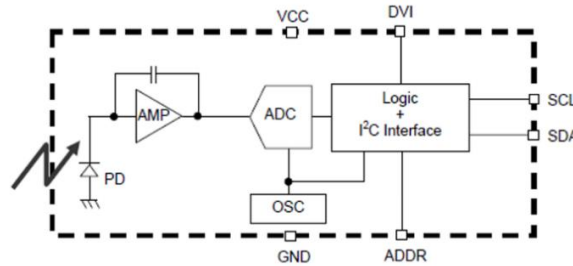


Figura 3. Muestra el componente BH1750FVI en su esquema de operación (Texax instrument)

Esta señal se recogió con el microcontrolador Atmega 328p de una tarjeta Arduino uno. Como se describe anteriormente, se hace uso del componente BH1750FVI que cuenta con una resolución de 16 bits para medir la intensidad lumínica. Después de la integración de los componentes electrónicos con la capacidad de captar las características lumínicas, se requiere de un software que controle los componentes descritos anteriormente. Para ello, se diseñó la siguiente rutina que permite el levantamiento de datos y su almacenamiento.

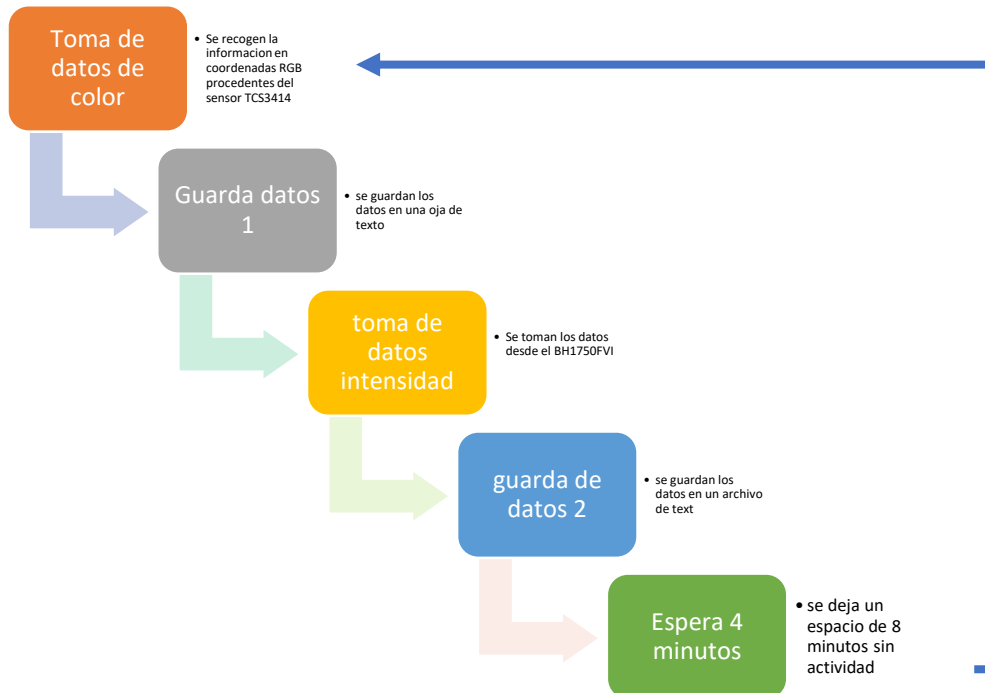


Figura 4. Muestra la lógica del algoritmo de operación.

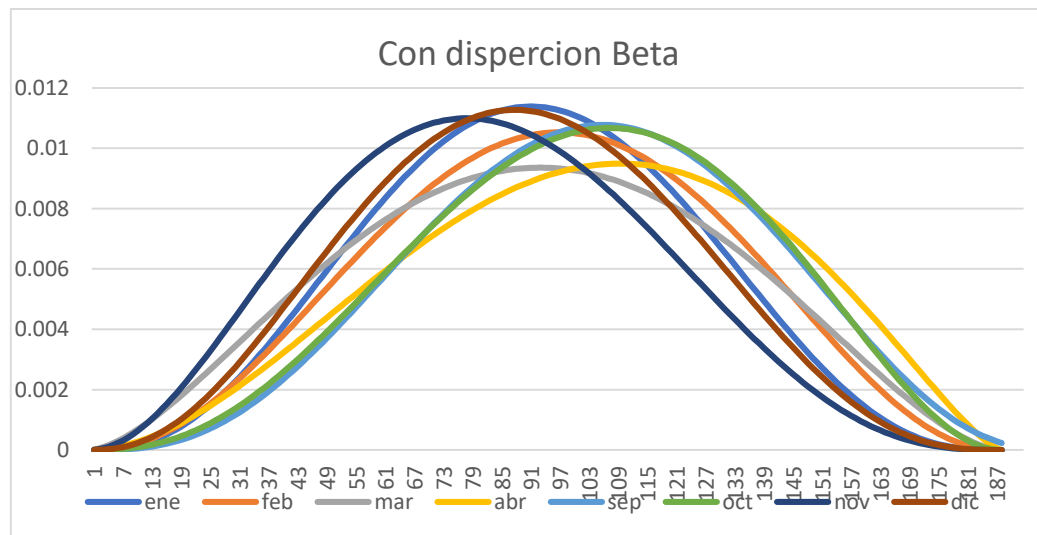
Posteriormente, se montó en un seguidor solar articulado por dos servomotores que dependen de un algoritmo de inteligencia artificial y de una máquina de estado finito, con lo cual se garantiza que el sensor se encuentra 100% de las veces apuntando directamente al sol. Durante el muestreo automatizado, la toma de datos se verifica haciendo el uso de toma ocasional para comparación, con un espectrómetro de la marca Niusiwen modelo TES135.

#### Periodo de observación

La puesta en marcha del sistema dentro del punto de estudio, fue iniciad el día 17 de marzo de 2018 en las coordenadas 19.550231, -99.040717 y se dio por terminada en un primer periodo en la misma fecha, pero del año 2019, Toda vez que se tuvieron ambos muestreos; el primero referido a una observación del fenómeno lumínico tradicional vs la observación del fenómeno con un seguidor de iluminación máxima, se hicieron las comparaciones directas encontrando una diferencia principalmente en las condiciones lumínicas del amanecer y el anochecer, por lo que se tomó esta segunda marcha como información prioritaria. Las consideraciones para la elección de muestreo elegido fueron diversas, principalmente a la revisión de las actividades humanas, que, en un sentido estricto de la movilidad diaria y acondicionamiento de los espacios arquitectónicos, no se encontró una relación directa con respecto a la orientación con la que se ubican los instrumentos tradicionales, mientras que el lector fototrópico, no depende de una alineación predeterminada, cualificando así el fenómeno desde su origen.

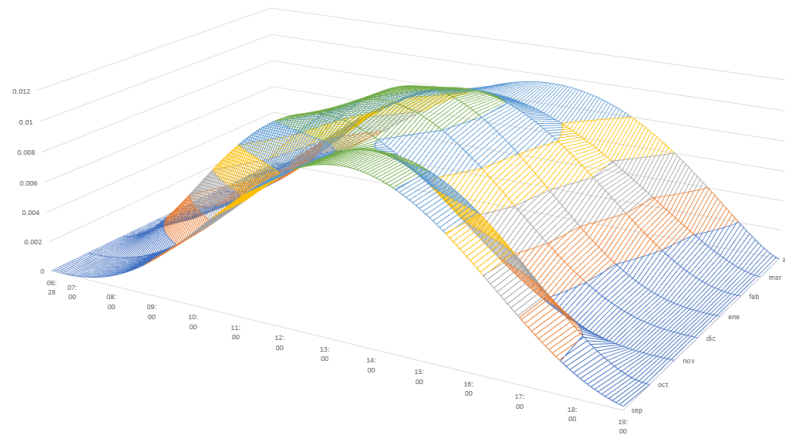
#### Tratamiento de los datos empíricos, resultados y descripción.

Se realizó el levantamiento de datos en materia de intensidad lumínica que se pueden ver en la siguiente gráfica, figura 5, toda vez que le fue aplicada una dispersión beta, para la interpretación del objeto.



**Figura 5.** Muestra una interpretación estadística mensual del fenómeno lumínico natural, en aplicación de dispersión beta (propia).

Como se puede observar en esta grafica 2D, cada mes tuvo un comportamiento diferente; en el presente trabajo, se ha hecho referencia en repetidas ocasiones a este recorrer diurno como marcha, viendo este resultado estadístico, se ha interpretado de 1 a 187 puntos graficados a lo largo del eje X y que se contrasta con un comportamiento de intensidad lumínica que, en sus picos observacionales, están en una escala de 1 a 10,000 lux



**Figura 6.** Muestra una interpretación estadística de la figura 5, en 3D (propia).

A partir de estos hallazgos, se cuenta con la información necesaria para replicar el fenómeno natural en un sistema de iluminación que, emule cada uno de los puntos de la gráfica, entendiendo que dicha información nos muestra los patrones diurnos y que no se repiten en ningún día estudiado; por lo tanto, se requiere de una sección específica del algoritmo para cada marcha diurna en la luminaria.

## Conclusiones

En la actualidad y derivado de los resultados de la investigación, tal información se está empleando para el desarrollo de un sistema de iluminación domótica circadiana que pretende emular las propiedades de la marcha lumínica durante el día y que, al ser implementado en un espacio arquitectónico, pueda coadyubar a la sincronización de los ritmos circadianos en sus habitantes y por ello, conformar un espacio saludable, inteligente y altamente confortable.

Para complementar las posibilidades técnicas que acompañan al espacio arquitectónico, es importante la investigación básica, que da soporte a las aplicaciones tecnológicas en el hacer diario domótico y urbana. En México existe un enorme campo de oportunidades que nos encaminan al análisis del conocimiento y técnica faltante, que, con investigaciones de este tipo, complementen su razón de ser a partir de un carácter geográfico irreplicable.

En la literatura existente, hay modelos matemáticos que se acercan al fenómeno circadiano, aplicado a cualquier punto geográfico en el planeta, sin embargo, los datos específicos encontrados, muestran que hace falta un trabajo comparativo de mayor precisión. Trabajo que será planteado en un futuro próximo.

Así mismo, y derivado de la observación tradicional regulada, encontramos que pueden existir técnicas paralelas de registro del fenómeno que nos otorgan un criterio de evaluación cuantitativa más cercanos a la realidad humana, para el caso específico del análisis de las actividades adaptadas en relación con los espacios construidos y encaminado a proporcionar confort a sus habitantes.

La mayor parte de los textos citados, son artículos de revistas científicas especializadas. Dadas las condiciones actuales en la carrera por obtener los mejores avances tecnológicos dentro de estas disciplinas, hemos encontrado que los libros, además de ser pocos en el mercado, quedan parcialmente superados. De lo cual. La mejor estrategia de investigación es la de estar al día, pendientes de las nuevas publicaciones paralelas por especialidad.

## Bibliografía

Augusto, J. (2006). *Designing smart homes*. New York: Springer.

Boyce, P. (2003). *The benefits of daylight through windows*. Lighting Research Center.

Cetina, C. (2009). Using Variability Models for Developing Self-configuring Pervasive Systems. *IEEE Explore*, 37 - 43.

Colwell, c. (2015). *Circadian Medicine*. California: Wiley blackwell.

Dean, C. (1994). USA Patente nº US5541585A.

Denissen, J. (2008). The effects of weather on daily mood: A multilevel approach. *Emotion*, 662-667.

Dolsen, M. R. (2018). Sleep, Circadian Rhythms, and Risk Across Health Domains in Adolescents With an Evening Circadian Preference. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*.

Ferrarin, P. L. (2017). Pilot Test of a New Personal Health System Integrating Environmental and Wearable Sensors for Telemonitoring and Care of Elderly People at Home (SMARTA Project). *Karger*, 6.

Fokkema, T. (2015). *Big Cities, Big Problems: Reason for the Elderly to Move?* En *Urban Studies* (págs. 223 - 248). Amsterdam: Sage Publications Ltd.

Georgios, T. (2017). *Circadian adjusted LED-based lighting design to improve well-being of elderly people: The LighTel project*. Danish National.

Heschong, L. (2003). *Windows and offices: A study of office worker performance and the indoor environment*. Heschong Mahone Group, Report 500-03-082-A-9.

Hobday, R. (1997). Sunlight therapy and solar architecture. *Medical History*, 455–472.

Hoof J, V. (2012). Light therapy: Methodological issues from an engineering perspective. *Technology and Health Care*, 11–23.

Knowlden, A. (2017). Using Multitheory Model of Health Behavior Change to Predict Adequate Sleep Behavior. *Family and community health*, 56-61.

Kunz, D. (20 de marzo de 2017). CLINICAL STUDY CONFIRMS BIOLOGICAL (MELANOPIC) EFFECTIVENESS OF LIGHT OF THE LUCTRA® DESK LAMPS. Obtenido de luctra: <http://www.luctra.eu/english/study.html>

Mariana, F. (2017). *Disruption of Circadian Rhythms by Light During Day and Night*. Springer, 76-84.

MBC, A. (2005). *Human lighting demands – Healthy*. The Netherlands.

Meythaler, G. (2017). Estudio de las condiciones de confort como requerimientos técnicos en la implementación de los Estudios. Repositorio UTA.

Micic, G. (2016). Personality differences in patients with delayed sleep–wake phase disorder and non-24-h sleep–wake rhythm disorder relative to healthy sleepers. *Elselver*, 128-135.

Miranda, M. (2010). La obesidad y la regulacion del reloj circadiano. *Ciencias*, 2.

- O'Reilly, S. (2017). 04.22 Circadian clock and fibrosis. *BMJ Journals*.
- Peek, c. B. (2017). Circadian Clock Interaction with HIF1 $\alpha$  Mediates Oxygenic Metabolism and Anaerobic Glycolysis in Skeletal Muscle. *Cell Metabolism*, 86-92.
- Ramírez, A. (22 de Mayo de 2017). Tendencias tecnológicas en controles de iluminación. Obtenido de <https://imei.org.mx>: <https://imei.org.mx/2017/06/14/tendencias-tecnologicas-en-controles-de-iluminacion/>
- Sack, R. (2007). Circadian Rhythm Sleep Disorders. PCM US National library of medicine.
- Simon, F. (2016). Shift work, safety and productivity. *Occupational Medicine*, 95-101.
- Sophos. (29 de 03 de 2017). Obtenido de Haunted House makes the CeBIT rock: <https://www.sophos-events.com/smarthome/en/news.cfm>
- Tang, S. (2016). Control architecture using sensors onboard a mobile computing system. *Sciencedirect*, 368-376.
- Uzzell, D. (2017). *Global Challenges for Environmental Psychology: The Place of Labor and Production*. Springer, 559-574.
- Velds, M. (2002). User acceptance studies to evaluate discomfort glare in daylit rooms. *Solar Energy*, 95–103.
- Wang, Q. (2017). Influence of color temperature on comfort and preference for LED indoor lighting. *Elsevier*, 21-29.
- Watson, D. (2000). *Mood and Temperament*. The Guilford Press.
- WHO. (1946). Preamble to the Constitution of the World Health. Organization as adopted by the International.
- WKE, O. (2005). Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments. *Solar Energy*, 140–158.
- Wright, M. (2015). GE Lighting and Lighting Science Group unveil LED circadian lamps. *LEDs Magazine*.

El libro ¿SE PUEDE HACER UNA CIUDAD INTELIGENTE?,  
se terminó de reproducir en Junio de 2020, con un tiraje de 250 cd's.



Smart Building



Smart Product Management



User Driven Innovation



Smart Connect