

ILUMINANDO LA EDUCACIÓN

PROYECTO DE TÍTULO



Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile
para optar al título profesional de Diseñador



Alumna: Francisca Donoso Silva

Profesor: Douglas Leonard
Santiago, Diciembre 2016

DISEÑO | UC
Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Diseño

Pontificia Universidad Católica de Chile
Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos
Escuela de Diseño



PONTIFICIA UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE CHILE

FACULTAD DE ARQUITECTURA,
DISEÑO Y ESTUDIOS URBANOS

ESCUELA DE DISEÑO

DISEÑO | UC
Pontificia Universidad Católica de Chile
Escuela de Diseño

**SISTEMA DE ILUMINACIÓN CIRCADIANA CON
MALLA CURRICULAR PARA ESTABLECIMIENTOS
EDUCACIONALES**

Autor: FRANCISCA DONOSO SILVA

Tesis presentada a la Escuela de Diseño de la Pontificia Universidad Católica de Chile
para optar al título profesional de Diseñador

Profesor guía: Douglas Leonard

Santiago, Diciembre 2016

Título original de la presente edición:
Iluminando la Educación

© 2016, Francisca Donoso Silva

Ninguna parte de esta tesis puede reproducirse o transmitirse bajo ninguna forma o por ningún medio o procedimiento, sin permiso por escrito del autor.

Impreso en Santiago, Chile.

Impresión: Encuadernaciones Palencia
Av. Portugal 1625, Santiago.



El texto de las páginas interiores fue escrito con la fuente Chaparral Pro, en las variantes Regular, Italic y Bold.

Se utilizó papel de 106 gr. y se encuadernó con costura Hilo.

Gracias a todos los que hicieron posible la realización de este proyecto, tanto por su ayuda en el proceso de búsqueda y desarrollo, como por la motivación y energía para seguir.

Al profesor Douglas, por su ayuda y dedicación. Su labor como guía y experto en el tema fueron muy importantes para el desarrollo de mi tesis.

ÍNDICE

| | |
|----|---|
| 7 | Introducción |
| 9 | Marco Teórico |
| 10 | Capítulo 1: Iluminación y Cuerpo Humano |
| 10 | a. La luz como fenómeno físico |
| 15 | b. La luz como factor importante en la evolución del hombre |
| 15 | b.1. Efectos visuales |
| 16 | b.2. Efectos no visuales |
| 20 | c. Luz y salud |
| 24 | Capítulo 2: Iluminación y Educación |
| 24 | a. Educación en Chile |
| 25 | b. Entorno de aprendizaje e infraestructura escolar |
| 27 | c. Condiciones de iluminación en establecimientos educacionales en Chile |
| 31 | d. Parámetros de confort ambiental internacionales |
| 31 | e. Incidencia lumínica en estudiantes |
| 32 | f. Casos de estudio y resultados de iluminación dinámica aplicada en establecimientos educacionales |
| 34 | Capítulo 3: Iluminación y Energía |
| 34 | a. Energía y medio ambiente |
| 35 | b. Eficiencia energética |
| 37 | c. Tecnologías y soluciones de eficiencia energética |
| 39 | d. Manejo y gestión de la iluminación |
| 41 | e. Empresas con sistemas de manejo y control de la iluminación |
| 43 | Formulación del Proyecto |
| 44 | a. Qué, Por qué, Para qué |
| 45 | b. Objetivo general y específicos |
| 46 | c. Contexto de intervención |
| 47 | d. Usuarios |
| 49 | Proyectos y Empresas: Antecedentes y Referentes |
| 55 | Desarrollo del Proyecto: Propuestas y Simulación |
| 56 | a. Aspectos clave |
| 56 | a.1. Parámetros climáticos |
| 56 | a.2. Parámetros lumínicos a considerar |
| 57 | a.3. Habilidades necesarias para cada conjunto de asignaturas |

| | |
|----|--|
| 58 | b. Propuesta malla optimizada |
| 60 | b.1. Formulación malla curricular |
| 63 | c. Propuestas de sistemas dinámicos |
| 65 | d. Escenarios para cada propuesta |
| 68 | e. Simulación de propuestas |
| 68 | e.1. Resultados |
| 72 | Implementación del Proyecto |
| 72 | a. Proceso global |
| 73 | b. Proceso para la ejecución de un proyecto |
| 75 | Modelo de Negocios |
| 75 | a. Modelo ESCO |
| 77 | b. Evaluación de ahorros y costos de un proyecto |
| 80 | c. Modelo Canvas |
| 81 | Diseño del Documento |
| 84 | Referencias Bibliográficas |
| 86 | Anexos |

INTRODUCCIÓN

La luz, propiamente tal, tiene diversos efectos en nuestro cuerpo, salud y bienestar, además de permitirnos ver. Tales efectos están siendo mejor comprendidos en la actualidad, por lo que soluciones modernas de iluminación debieran tomar en cuenta estos aspectos al diseñar cualquier recinto, en lugar de centrarse sólo en la apariencia y en la disposición de equipos que sean coherentes con la arquitectura y el diseño de interiores, o en criterios de consumo.

Desde siempre, los seres humanos, como la mayoría de los organismos vivos, hemos tenido nuestro reloj corporal regulado por la luz natural a través de la duración del ciclo diario. La luz del día aumenta directamente el nivel de actividad interno y esto se reduce durante la oscuridad cuando el cuerpo se prepara para el sueño.

Por otro lado, la iluminación artificial ha sido central en nuestra forma de vida moderna hace más de 150 años. Sin embargo, no hemos tenido el tiempo suficiente para que evolucionemos y nos adaptemos a pasar gran parte de nuestras vidas bajo un ambiente artificial, y esto puede conducir a una desincronización en nuestros ciclos corporales y a diversas enfermedades. Si nuestro cuerpo recibe muy poca luz durante el día, produce niveles muy bajos de melatonina. El resultado es que dormimos mal, nos despertamos sin sentirnos descansados, y efectivamente, estamos más cansados durante el día y carecemos de motivación energética. En el invierno, con los meses más oscuros, el proceso puede llegar a ser peor. En esa época del año, los relojes internos de algunas personas pierden su sincronización porque el equilibrio hormonal en el cerebro está alterado.

Por lo tanto, al entender mejor el funcionamiento de nuestro cuerpo y su relación con el ciclo natural de la luz (en cuanto a visión, ritmo circadiano y aprendizaje) podemos crear una iluminación dinámica efectiva biológicamente, que puede simular este proceso natural mediante sistemas

de iluminación que utilicen tecnologías modernas y se programen para imitar el transcurso del día, y nuestros cuerpos respondan de una manera positiva a las actividades requeridas. Sobre todo en una sociedad donde pasamos gran parte del tiempo en lugares encerrados, con poca o nula iluminación natural, este sistema de iluminación juega un papel valioso en ayudar a estabilizar el ritmo circadiano humano. Y aplicar estos conceptos en un contexto escolar, permite obtener beneficios para las personas desde el momento en que se forman y educan, generando un ambiente propicio y óptimo para la enseñanza y el aprendizaje.

Aplicando esta metodología, es posible incidir en el rendimiento académico, mejorando diversos aspectos como la concentración, la memoria, la velocidad lectora, a través de la iluminación.

Además, las tecnologías existentes hoy en día son más eficientes que en el pasado, y permiten una mayor flexibilidad en los sistemas de uso y aprovechamiento para lograr ahorros energéticos importantes.

Más allá del marco teórico en que se emplaza este proyecto de título, la investigación realizada y la gran cantidad de bibliografía revisada me llevan a creer firmemente que es posible generar un impacto social a través de un sistema de iluminación dinámica circadiana (efectiva biológicamente) implementado en colegios de nuestro país. Esto debido a la amplia y positiva experiencia internacional que existe respecto al tema y en las altas posibilidades de mejora del sistema educativo en Chile.

Me parece importante rescatar y estimular iniciativas como ésta, que puedan aportar a nuestra sociedad de diversas maneras, y que a través de la interdisciplina se puedan complementar distintas áreas para llevarlas a cabo.



RESPETO

MARCO TEÓRICO

LUZ  EDUCACIÓN  ENERGÍA





CAPÍTULO I:

ILUMINACIÓN Y CUERPO HUMANO

“Light is the most important environmental input, after food and water, in controlling bodily functions”.

— Richard Wurtman, 1975

a. La luz como fenómeno físico

La luz es una forma de energía perceptible por nuestros sentidos. Tiene la propiedad de transmitir información sobre su fuente de origen y los cuerpos que la absorben y reflejan.

Llamamos luz a las radiaciones del espectro electromagnético que somos capaces de ver con el ojo humano. También existen diversas ondas electromagnéticas no perceptibles visualmente; como las ondas de radio, de calor, rayos X, radiación UV, etc. Este espectro electromagnético está compuesto por muchas bandas de colores según su longitud de onda, y las perceptibles por los seres humanos se encuentran en un rango promedio de entre 380 y 780 nanómetros (nm). Estas longitudes de onda comprenden desde el color rojo al violeta, pasando por el naranja, amarillo, verde y azul, como resultado de la descomposición de la luz blanca a través de un prisma u otro cuerpo refractor, como el aire. (PHILIPS, THEORY OF LIGHT AND LIGHTING, 2011, P. 5)

▼ NANÓMETRO:

Unidad de longitud que equivale a una mil millonésima parte de un metro.

Magnitudes de la luz: unidades cuantificables

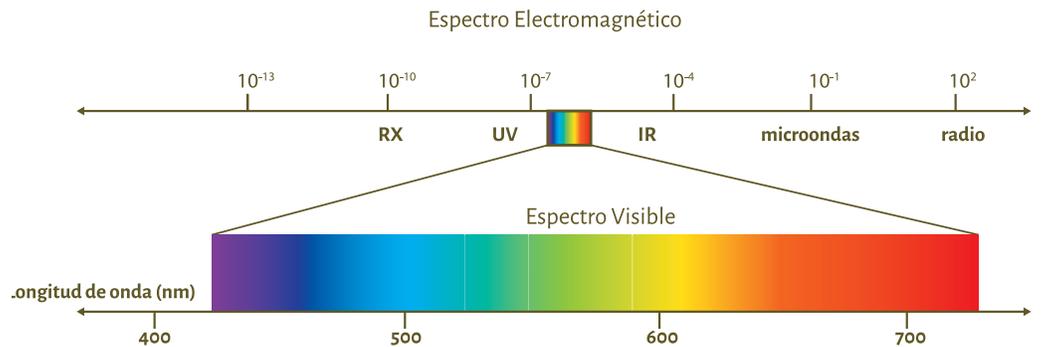
▼ FLUJO LUMINOSO: se define como la potencia (w) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible, sin especificar una dirección. Su unidad de medida es el lumen (lm), símbolo Φ (phi), y se utiliza la esfera de Ulbricht como instrumento de medición (fuentes luminosas 360°).

▼ INTENSIDAD LUMINOSA: se conoce como el flujo luminoso emitido por una unidad de ángulo sólido en una dirección determinada. Su unidad de medida es la candela (cd), símbolo I, y se utiliza un goniómetro como instrumento de medición (fuentes luminosas más focalizadas).

▼ ILUMINANCIA: es la relación entre el flujo que llega a una superficie y el tamaño de esa superficie. Su unidad de medida es el lux (lx = lm/



El espectro completo de la luz natural es necesario para la vida animal y vegetal en la tierra. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, LIGHTING WITH ARTIFICIAL LIGHT, 2014, P.09



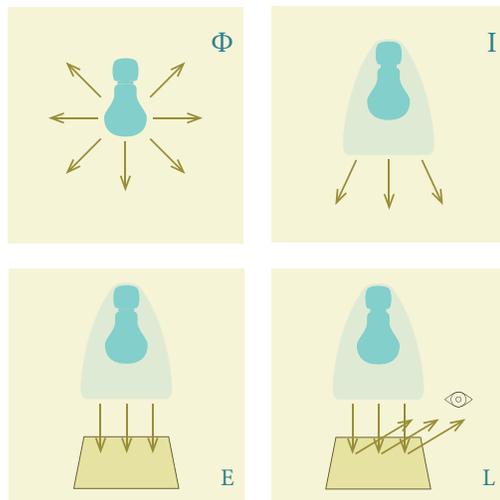
m²), símbolo E, y se utiliza un luxómetro como instrumento de medición. Los niveles de iluminancia cambian considerablemente dependiendo del lugar donde nos encontremos.

☑ **LUMINANCIA:** es la relación entre intensidad luminosa de una superficie (que irradia, refleja o transmite luz) y la superficie aparente desde un lugar determinado de observación. Su unidad de medida es la candela por metro cuadrado (cd/m²), símbolo L, y se utiliza un luminancímetro como instrumento de medición.

Luz natural

La luz natural es aquella que su fuente proviene de la naturaleza. La mayor y más importante fuente de luz y energía natural que tiene nuestro planeta es el sol. Pero existen otras fuentes como el fuego, los relámpagos, las estrellas, y algunos animales que emiten su propia luz, como luciérnagas y algunos peces.

Es muy importante también mantener un nivel de exposición al sol balanceado y alternado. Al estar en contacto con luz natural en el día, los animales crecen y hacen funcionar su cuerpo, y al tener periodos de oscuridad, sus células lo reparan y fortalecen. La exposición moderada a la luz solar saludable beneficia a los seres humanos, aumentando sus niveles de energía y metabolismo, impulsando el sistema inmunológico y la cantidad de vitamina D en el cuerpo. Sin embargo, los rayos dañinos del sol pueden causar enfermedades como el cáncer a la piel, cataratas y dañar la estructura de la piel, si nos sometemos a ellos de manera demasiado prolongada.



Figuras representativas de las magnitudes cuantificables de la luz. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, LIGHTING WITH ARTIFICIAL LIGHT, 2016, P.12

Luz artificial

La luz artificial es aquella cuya fuente es creada por el hombre, donde se transforma algún tipo de energía en luz. La mayoría de nuestras actividades se detendrían durante la noche si no tuviéramos una fuente de luz alternativa que supliera al sol.

La principal ventaja, con respecto a la luz natural, es que podemos controlarla a voluntad en la medida en que la requiramos. Podemos variar su intensidad, dirección, color, entre otras, de acuerdo a nuestras necesidades y en el momento que queramos.

Existen tres grandes clasificaciones de fuentes artificiales; los radiadores térmicos, los de descarga en un gas y los de estado sólido.

❏ **RADIADORES DE TERMORRESISTENCIA:** cuerpos que emiten radiación lumínica producto de su aumento de temperatura. Dicha temperatura determina el color de la radiación y se expresa en grados KELVIN (o °K = - 273 °C). A medida que la temperatura es menor, más cálida y rojiza es el color de luz. Mientras que si aumenta la temperatura, más fría y azulada se torna. Un ejemplo son las ampollitas incandescentes, donde el filamento interno se calienta y emite luz.

❏ **RADIADORES DE DESCARGA EN UN GAS:** La luz emitida es producto de la excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos. Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que se somete tendremos diferentes tipos de lámparas, con distintas características luminosas. En este tipo de lámparas, se utiliza el concepto temperatura de color correlacionada, ya que no existe relación directa entre la temperatura del gas y el color de la luz emitida.

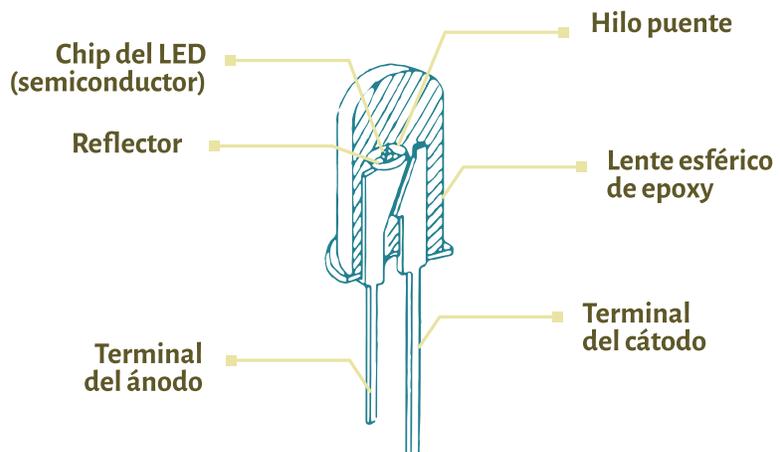
❏ **RADIADORES DE ESTADO SÓLIDO:** cuerpos que emiten radiación lumínica debido a la interacción de un campo eléctrico con un material sólido. El color está determinado por la onda que emiten

los diferentes materiales. En esta clasificación se encuentran los LEDs (*lighting emitting diodes*), los cuales utilizan materiales inorgánicos para producir luz, y los OLEDs, que utilizan materiales orgánicos semiconductores. (PHILIPS, THEORY OF LIGHT AND LIGHTING, 2011, P. 5)

Entrando en mayor detalle en estos últimos, la estructura de un LED es una combinación de materiales semiconductores que tienen la propiedad de emitir fotones de luz de diferentes colores cuando son recorridos por una corriente eléctrica. Todas las combinaciones poseen dos polaridades; una positiva correspondiente al cátodo y una negativa al ánodo. Al unirse estas dos regiones, se forma una barrera de potencial que impide el paso de los electrones (de negativo a positivo) cuando no están correctamente polarizados.

Cuando se le aplica una tensión o voltaje suficiente para polarizar el LED directamente, los electrones comienzan a fluir a través del diodo. Y la energía de exceso que liberan se transforma en energía electromagnética liberada en forma de fotón de luz. El color de la luz emitida corresponde a una determinada frecuencia del espectro electromagnético dependiendo de la composición de los materiales con que se fabrica cada diodo.

Estructura interna de un diodo. Fuente: ELECTRÓNICA RADICAL, S/F.



Si comparamos estas nuevas fuentes de luz con la clásica ampollita incandescente que existe en muchas de nuestras casas, oficinas y lugares a los que asistimos, encontramos una notable diferencia que deja en un muy buen estándar a los LEDs. Estos son más eficientes, ya que consumen alrededor de 90% menos de energía que una ampollita incandescente estándar y un 50% menos que una fluorescente, para un mismo nivel de iluminación. Y tienen una vida útil de aproximadamente 20 veces más en comparación a las incandescentes. Como contrapartida, aún su precio de venta es mayor. Sin embargo, su costo de operación es muy bajo.

Los LEDs no tienen componentes frágiles como el vidrio o filamentos, y eso los hace más resistentes a golpes, vibraciones y temperaturas extremadamente frías.

Por otra parte, proporcionan mayor seguridad a los usuarios ya que no contienen mercurio, plomo o vidrio, y producen muy poco calor, haciéndolos más fríos al tacto.

Si nos referimos a su impacto ambiental, esta nueva tecnología produce un 50% menos de carbono y están elaborados con materiales no tóxicos, son reciclables y muchas empresas los consideran “verdes” en comparación a las otras ampollitas del mercado. Se estima que casi no producen emisiones UV, haciéndolos convenientes para objetos sensibles a la radiación ultravioleta (BENEFICIOS DE LOS LED, S.F).

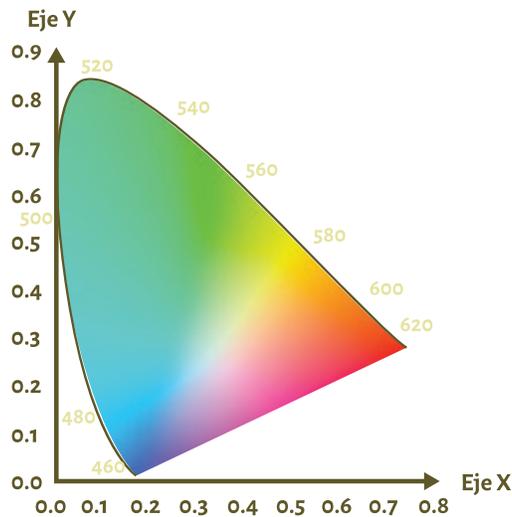
Gobiernos alrededor del mundo se han comprometido a disminuir sus huellas de carbono con el paso de los años; para ello, cambiar la iluminación a LED es un imperativo, ya que ayuda a reducir las emisiones de una manera rápida y eficiente.

Sin embargo, una de las problemáticas es el nivel de información que manejan las personas con respecto a esta tecnología. Gran parte de la población desconoce sus beneficios, tanto para el medio ambiente como para las finanzas del hogar. En parte, esto se debe al lenguaje técnico y especializado que

utilizan muchos de los productos y servicios para mostrar cuál es el ahorro y la mayoría de las personas no tienen los conocimientos para cuantificar o entender el significado de eso.

Luz y color

Para caracterizar el color de la luz, en 1931 la Comisión Internacional De L'Eclairage (CIE) desarrolló un diagrama cromático en forma triangular, basado en la teoría de la mezcla aditiva de color. Los colores se van mezclando dentro del triángulo, donde en las esquinas se encuentran los colores primarios (rojo, verde y violeta-azulado) y en los lados del triángulo se encuentran los colores más saturados. Más al interior los colores se van desaturando y haciéndose más luminosos, hasta llegar al centro blanco. Cada color puede ser definido por las coordenadas dadas en los ejes X e Y.



En el Anexo 1 se muestra una tabla general con las especificaciones técnicas de fuentes de iluminación artificial.

Diagrama cromático de CIE. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, LIGHTING WITH ARTIFICIAL LIGHT, 2016, P.12

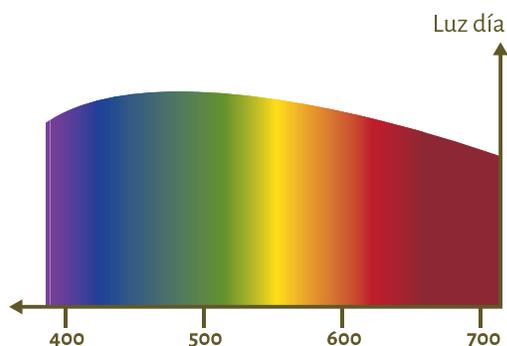
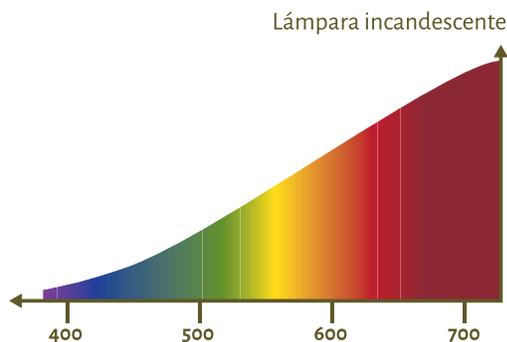
Por otro lado, la apariencia del color de la luz emitida por una fuente está estrechamente relacionado con la composición del espectro de dicha luz y se caracteriza por su temperatura de color (correlacionada). Por ejemplo, una lámpara incandescente, siendo una fuente de luz blanca con cierta proporción de rojo y, por ende, una baja temperatura de color, su apariencia es cálida. A diferencia de una fuente de luz blanca pero con alta proporción de azul y con una alta temperatura de color, como lo es la luz de día, tiene una apariencia mucho más fría.

De ésta manera, podemos clasificar la luz relacionando las temperaturas de color en grados Kelvin, con la apariencia de color para el ojo humano.

El color y la apariencia de luz ideal es difícil de encontrar. Existen diversas opciones en el mercado y una fuente de luz específica puede ser perfecta para un escenario y no funcionar para otros. Cada espacio que queremos iluminar presenta sus propios desafíos. Si queremos descansar, trabajar, aprender, dormir, o realizar cualquier otra actividad, se requiere una iluminación específica, la cuál también depende del tamaño del espacio, la altura del techo, la cantidad de luz natural que entra a la habitación, etc. Asimismo, factores de la misma luminaria influyen en establecer qué fuente se usará para determinado espacio y actividad. Algunas de estas características son el color de la luz que emiten, la vida útil, depreciación, precio, forma y tamaño, brillo, temperatura, sensibilidad, materiales, entre otros. (OSRAM, LIGHT IN ITS THIRD DIMENSION, 2012)

| Temperatura de color | Apariencia de color |
|----------------------|-----------------------------|
| Menos de 3.300 °K | Blanco cálido (amarillento) |
| 3.300 °K - 5.000 °K | Blanco neutro |
| Más de 5.000 °K | Blanco frío (azulado) |

Clasificación de la apariencia de color según su temperatura. Fuente: DOUGLAS LEONARD LIGHTING DESIGNERS, 2016, P. 2.



Distribución de energía espectral de una lámpara incandescente (fuente de luz blanca con alto contenido de rojo y baja temperatura de color) en comparación a la luz día (fuente de luz blanca con altas proporciones de azul, es decir, temperatura de color elevada). Fuente: PHILIPS, THEORY OF LIGHT AND LIGHTING, 2011, P. 41.

b. La luz como factor importante en la evolución del hombre

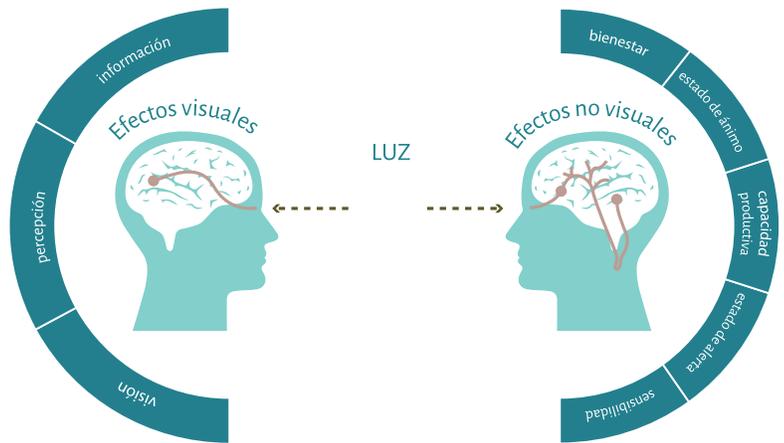
La vida comenzó su desarrollo en la Tierra hace 3 mil millones de años atrás con la ayuda del sol. Muchos de los procesos en la naturaleza se guían por la luz del sol; el día o la noche, el verano o el invierno, podríamos decir que la luz determina el ritmo de vida en la Tierra. Por otra parte, el hombre (*homo sapiens*) ha habitado el planeta alrededor de 200 mil años, siendo durante mucho tiempo el fuego su única fuente de luz además del sol. Sin embargo, la luz artificial ha entrado en nuestras vidas recién en los últimos 150 años, y ha llegado para quedarse y estar presente en nuestro día a día. Esta irrupción ha generado cambios tanto en nuestra forma de vida como cambios al interior de nuestro cuerpo y de nuestros ciclos naturales.

Los efectos de la luz en el cuerpo humano se clasifican en visuales y no visuales. Los efectos visuales hacen alusión a la parte física, a cómo el ojo ve, percibe la luz y a cómo es la calidad de esta visión. Mientras que los efectos no visuales tienen relación con el funcionamiento interno que produce la luz en nuestro cuerpo; la secreción de hormonas, la salud y bienestar de las personas.

b.1 Efectos visuales: “visual performance and visual experience”

El ojo humano es el órgano que detecta la luz y nos permite ver nuestro alrededor.

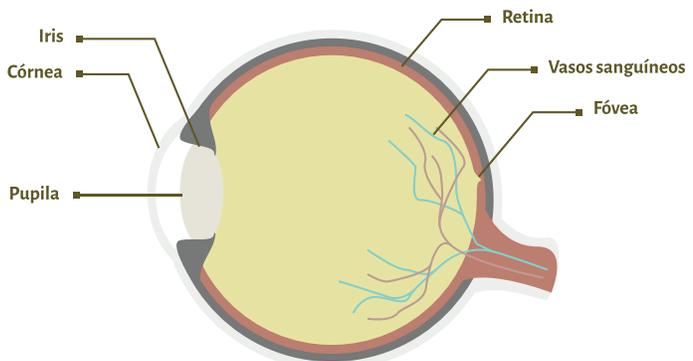
“The eye is the most important sense organ in the human body, handling around 80% of all incoming information. Without light, that would be impossible – light is the medium that makes visual perception possible.” (FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014, P.15)



Su forma es casi esférica con un diámetro de aproximadamente 25 mm. La luz penetra a través de la pupila, atraviesa el cristalino y se proyecta sobre la retina. Aquí es donde se transforma en impulsos nerviosos gracias a las células fotorreceptoras y llega al cerebro mediante fibras nerviosas y células ganglionares. La retina contiene más de 120 millones de fotorreceptores llamados conos y bastones. Los bastones se encuentran en toda la retina menos en la fóvea, y son aquellos que nos ayudan a ver en condiciones de baja luminosidad. Mientras que los conos, que son considerablemente menos en cantidad, se encuentran en la fóvea y son los responsables de la visión de los colores.

Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014, P. 7.

Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF HUMAN BEINGS, 2014, P.14.

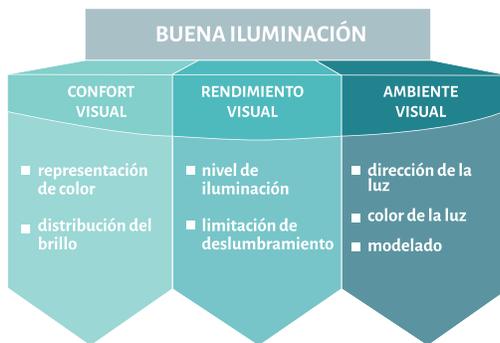


Nuestro cerebro selecciona ciertos objetos de nuestro campo visual o rango de visión, ya que no es capaz de transformar toda la información percibida. La luz debe ser óptima en ese rango para que nuestro cerebro se concentre en determinada información, porque si la luz genera incomodidad o la vista se fatiga, instintivamente el ojo buscará otro punto o zona mejor iluminada que le permita el confort visual.

Dentro del efecto visual que tiene la luz en los seres humanos, la empresa alemana *Fördergemeinschaft* establece tres categorías que determinan una “buena” iluminación.

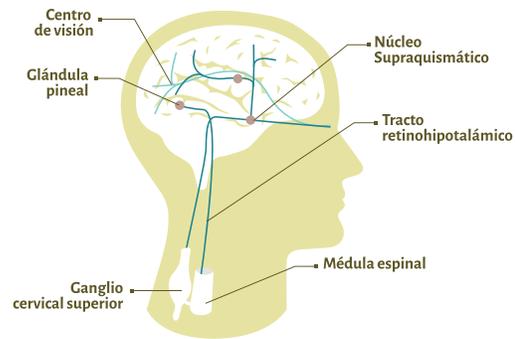
Izquierda: Características de la calidad de la iluminación según DIN EN 12464-1. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014, P. 29.

Derecha: Recorrido de los estímulos visuales en el cuerpo. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014, P. 16.



b.2 Efectos no visuales: “biological incidence”

Desde hace muchos años, las investigaciones científicas habían determinado que los conos y los bastones eran las únicas células fotorreceptoras en el ojo. Sin embargo, en el año 2002, investigadores de la Universidad de Brown (Estados Unidos) encontraron una relación directa entre un fotorreceptor específico ubicado en la retina y la parte de nuestro cerebro que controla el ciclo circadiano o reloj natural. Esta célula fotorreceptora, llamada ipRGC (*intrinsic photosensitive Retinal Ganglion Cell*), tiene una conexión nerviosa con el “reloj biológico cerebral”, más conocido como núcleo supraquiasmático (SCN).



Dado lo anterior, se pueden distinguir cuatro actores que determinan el buen funcionamiento de la visión, y si uno de ellos falla, todo el proceso de visión falla.

Ellos son:

- ✓ la fuente: emisora de luz
- ✓ el objeto: que absorbe o refleja la luz
- ✓ el receptor humano: el ojo
- ✓ el intérprete: el cerebro

Pero, el desarrollo y experiencia visual no son el único efecto de la luz en el cuerpo humano. Existe una consecuencia no visual que tiene relación con el funcionamiento interno del cuerpo.

Gracias a este descubrimiento, se hizo posible la realización de una investigación el año 2007 por un grupo de ingleses y suecos de la Universidad de Lund (Suecia), que concluyó que utilizamos la luz para saber cuándo liberar determinadas hormonas que estimulan a nuestro cerebro y que nos dicen, por ejemplo, cuándo despertarse o irse a dormir (el SCN está conectado con la glándula pineal, responsable de la secreción de esas hormonas). Es decir, cómo nuestro sistema responde de una manera biológica a la luz, y de esta manera determinar qué iluminación es más adecuada para el cuerpo en determinadas situaciones. En estudios anteriores, sólo había sido posible comprender reacciones en

términos de tareas visuales (ámbito visual) y cómo se sentían las personas (ámbito emocional). Pero gracias a este descubrimiento de reacción hormonal (ámbito biológico), se pudo comprender más profundamente lo significativo que es la luz ambiental para el bienestar humano (GOVÉN, 2007).

El cerebro controla día a día la reprogramación de nuestro reloj interno, el cuál no sólo determina cuándo nos levantamos o acostamos, si no que controla diversas funciones del cuerpo como la presión sanguínea, el ritmo de nuestros latidos, estados de ánimo, etc.

“Every cell and every organ has a rhythm of its own that needs to be synchronised regularly with the outside world. Brightness during the day and darkness at night provide the most important cues.” (FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT IN HUMAN BEINGS, 2014, P.10)

b.2.1 Ritmos biológicos

Los cronobiólogos (personas que estudian los ritmos biológicos) distinguen 3 tipos de ritmos en nuestro cuerpo según la duración del ciclo:

- ✔ RITMOS ULTRADIANOS: ciclos de pocas horas. Ejemplo: el hambre, la orina.
- ✔ RITMOS CIRCADIANOS: ciclos de 24 horas, determinados por el día y la noche.
- ✔ RITMOS INFRADIANOS: ciclos que duran más de 24 horas. Ejemplo: estaciones del año.

Todos estos ritmos o sistemas son fundamentales para que el resto de los sistemas del cuerpo funcionen correctamente. En específico, el ciclo circadiano proporciona estabilidad y alineamiento con los cambios ambientales, de manera que la actividad cerebral, la actividad celular, el desarrollo fisiológico y el sistema autónomo se mantengan coordinados. Si el cuerpo no recibe luz natural, como regulador, nuestro reloj biológico se des-sincroniza.

La luz que percibimos a través de los ojos va al hipotálamo, el cual regula los ritmos circadianos, diciéndole al cuerpo si es de día o de noche, invierno o verano, etc. El significado de esto se indica según la glándula pineal que secreta ciertas hormonas específicas en el cuerpo. (OSRAM, LIGHT IN IT THIRD DIMENSION, 2012)

Si dividimos el ciclo en cinco etapas, éstas serían en base al ciclo horario o astronómico. Durante la mañana, los niveles de iluminación son muy bajos y al hacer contacto con nuestro cuerpo, le transmiten a éste que debe empezar a funcionar para la rutina diaria. El cuerpo comienza a liberar cortisol y adrenalina, hormonas que nos hacen despertar y levantar el cuerpo, y serotonina que activa nuestro cerebro. A medida que van pasando las horas, los niveles de cortisol en el cuerpo decaen, mientras que los de serotonina y adrenalina aumentan.

Cuando ya es mediodía y el sol se eleva cada vez más, aumentan los niveles de serotonina y



adrenalina, al mismo tiempo que nuestra temperatura corporal. El metabolismo también aumenta provocando que nos dé hambre.

A media tarde, nuestro metabolismo alcanza su peak, y es el momento en que convertimos grasa en energía más eficientemente. Llegado el final de la tarde, cuando ya comienza a oscurecer, nuestra energía disminuye y nuestro cuerpo empieza a funcionar más lentamente. Esto hace decaer nuestra temperatura, y la serotonina se convierte en melatonina. Cuando los niveles de melatonina aumentan, nuestro cuerpo se siente cansado y se empieza a preparar para la jornada de sueño.

En la noche, la melatonina agobia nuestro sistema haciendo difícil para el cuerpo mantenerse despierto o realizar actividades físicas. Nuestra temperatura desciende, mientras se sigue liberando más melatonina.

Finalmente, cuando llega la madrugada, dejamos de producir melatonina una vez que nuestro cuerpo detecta los mínimos niveles de luz solar. En este momento, la temperatura corporal está en su punto más bajo, pero en la medida que aumentan los niveles de luz, el cuerpo comienza con la producción de cortisol, adrenalina y serotonina, comenzando nuevamente con el ciclo.

En resumen, en un ciclo de día normal, el cuerpo debería producir 8 horas de melatonina y 16 horas de serotonina aproximadamente. Durante los meses de invierno donde se experimenta mayor oscuridad, el cuerpo segrega más melatonina que en verano, haciendo un desbalance en el cuerpo y creando ciertas condiciones, por ejemplo, las ganas de dormir más.

Además, el hipotálamo tiene la función de convertir la luz en impulsos eléctrico-químicos que siguen el sistema nervioso central del cuerpo, pro-

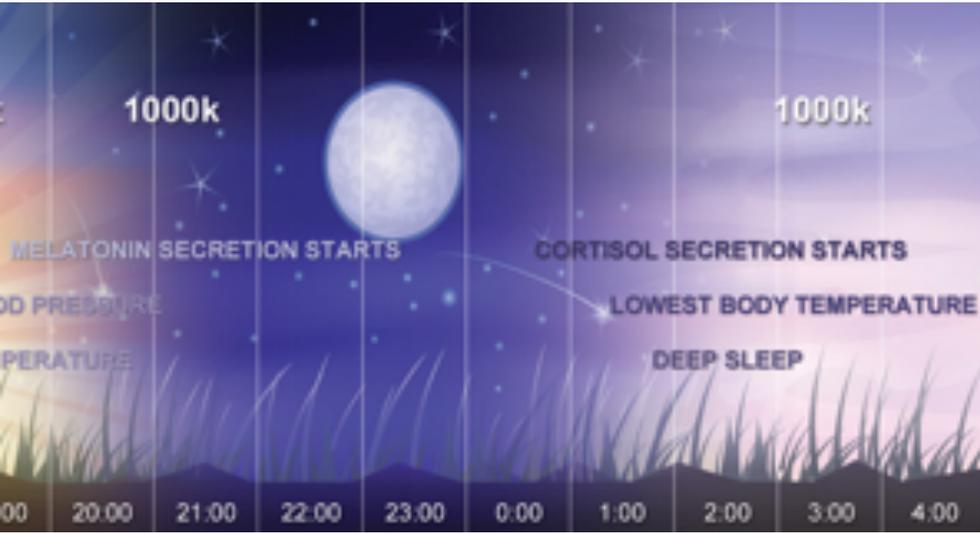
porcionando energía a cada célula. Éstas requieren nutrientes de los alimentos y oxígeno del aire, pero lo que les da la energía es la luz. La luz solar es el botón de inicio, genera “la chispa” en las células para producir proteínas, replicarse y repararse.

Todo lo anterior son efectos de la incidencia de luz solar en el cuerpo. Ésta regula el reloj biológico que produce las hormonas y envía la energía a las células, por lo que es importante que la “buena luz” entre en los ojos. Varios estudios a lo largo del tiempo han demostrado que la luz natural es beneficiosa para la salud, el confort y la productividad de las personas, siempre que sean expuestas responsablemente o sin incidencia directa (para evitar radiaciones UV).

✂ MELATONINA: hormona fundamental en el ciclo del sueño. Es la que nos hace sentir somnolientos, ralentiza las funciones corporales y disminuye los niveles de actividad para facilitar una noche de sueño. También asegura que un gran número de procesos metabólicos se reduzcan. La temperatura corporal baja y el cuerpo secreta hormonas de crecimiento que reparan las células durante la noche.

✂ CORTISOL: es una hormona que se produce a partir de las 3 am en la corteza suprarrenal. Estimula el metabolismo nuevamente y programa el cuerpo para el funcionamiento diurno. Los primeros rayos de luz estimulan el tercer receptor en el ojo y suprime la producción de melatonina en la glándula pituitaria (hipófisis). Al mismo tiempo, la glándula pituitaria se asegura de que el cuerpo secrete más serotonina.

✂ SEROTONINA: Este neurotransmisor actúa como un mensajero motivador y elevador del estado de ánimo. Mientras el nivel de cortisol en



Procesos internos del cuerpo a lo largo del día, de acuerdo al ciclo circadiano. Fuente: LIGHTING SERVICES, 2015

la sangre cae durante el día en un ciclo reverso a la melatonina; la serotonina nos ayuda a alcanzar peaks de rendimiento, donde se involucra la memoria, concentración, reacción, entre otros.

Cuando se va oscureciendo, los relojes internos vuelven al modo nocturno.

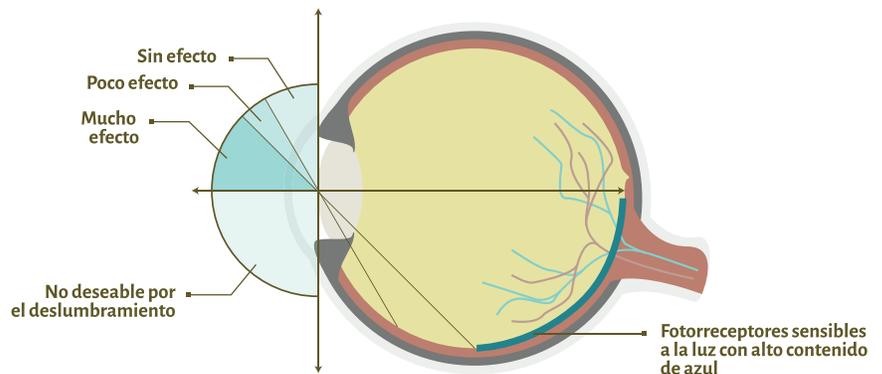
Todo lo anterior son efectos de la incidencia de luz solar en el cuerpo. Ésta regula el reloj biológico que produce las hormonas y envía la energía a las células, por lo que es importante que la “buena luz” entre en los ojos. Varios estudios a lo largo del tiempo han demostrado que la luz natural es beneficiosa para la salud, el confort y la productividad de las personas, siempre que sean expuestas responsablemente o sin incidencia directa (para evitar radiaciones UV).

b.1.2 Ángulo de incidencia

La manera en cómo incide la luz a través del ojo en el cuerpo genera distintos efectos biológicos según el ángulo de entrada. El efecto biológico es más pronunciado cuando la luz de una fuente de gran superficie viene desde arriba y contiene un componente de radiación azul. Éste tipo de radiación lumínica logra un acceso más eficaz a los centros de activación de nuestro cerebro y al centro de control de nuestro reloj interno. En consecuencia, el cuerpo está en un mayor estado de alerta, de atención y de capacidad de concentración. De esta manera, un sistema de iluminación que tenga fuentes indirectas en una superficie grande y brillante que refleja la luz tiene un efecto más fuerte que una fuente focal que ilumina un área pequeña, debido a que los fotorreceptores del ojo se distribuyen homogéneamente sobre la retina.

Los fotorreceptores se distribuyen uniformemente sobre la retina del ojo. Si se estimulan simultáneamente tantos receptores como sea posible, esto tiene un mayor efecto, y esto se logra con una iluminación planar. Debido a que los receptores más sensibles se localizan en la zona inferior de la retina, la luz que entra desde arriba activa mejor a estos receptores.

Ángulos de incidencia de la luz, según el efecto biológico directamente asociado a los fotorreceptores en la retina. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014, P. 21.



Efectos biológicos: son la respuesta de la glándula pineal bajo las condiciones de luz y oscuridad, del ciclo circadiano que establece los tiempos de sueño y vigilia. La secreción de melatonina producto de la oscuridad ambiental causa disminuciones en la temperatura corporal, en la presión sanguínea y en las pulsaciones cardíacas. Mientras que el cortisol actúa en escenarios con luz, aumentando la temperatura corporal, las pulsaciones cardíacas y se mejora la actividad cognitiva en su presencia.

Los **efectos fisiológicos** de la luz en el cuerpo son los nombrados anteriormente y que también tienen su centro en la glándula pineal. Ésta secreta serotonina, noradrenalina y dopamina como estímulo de nuestro aparato sensorial producto de las variaciones de luz. La serotonina se encarga de la regulación del sueño, la sensación de dolor y el comportamiento motriz. Mientras que la noradrenalina y dopamina están relacionadas a la memoria, aprendizaje y vigilia del cuerpo.

Los cambios de humor y estado de ánimo son **efectos psicológicos** en nuestro cuerpo producidos por las variaciones en el color de la luz y el confort visual que ésta nos provoca. El valor de la iluminancia determinará conjuntamente con la apariencia de color de las lámparas el aspecto final. (DOUGLAS LEONARD LIGHTING DESIGNERS, 2016)

c. Luz y salud

“Indoors, lighting with non visual effects can support the effect of natural daylight. In a 2% society in particular, it plays a valuable role in the helping to stabilise human circadian rhythm”. (FÖRDERGEMEINSCHAFT, 2014, P. 17)

Desde hace más de 30 años se han investigado los efectos que tiene la luz artificial en nuestro cuerpo. Dentro de los factores que se consideran como influyentes se analizan: la fuente (fluorescente, incandescente, LED, etc.), momento del día y tiempo de la exposición a la luz, la onda específica, el dinamismo y flexibilidad de la fuente de luz a lo largo del día, y las diferentes temperaturas en

°K de las fuentes lumínicas. (BURNETT, CIRCADIAN ADAPTATIVE LIGHTING, 2012, P.8).

La empresa *Architectural Lighting* (2014), que se enfoca en la importancia de la luz natural en las construcciones, postuló que nuestro sistema circadiano, mediante el uso de las neurohormonas, regula nuestros patrones de estado de alerta y somnolencia. Sin exposición a ciclos normales de 24 horas luz/oscuridad, el ciclo puede desviarse aproximadamente 2 horas por día. Y el efecto acumulativo de este desorden puede ser significativo. Si este ciclo se desequilibra puede producir trastornos del sueño avanzados o incluso una deuda crónica de sueño, provocando un cansancio permanente en la persona y una deficiencia en el rendimiento.

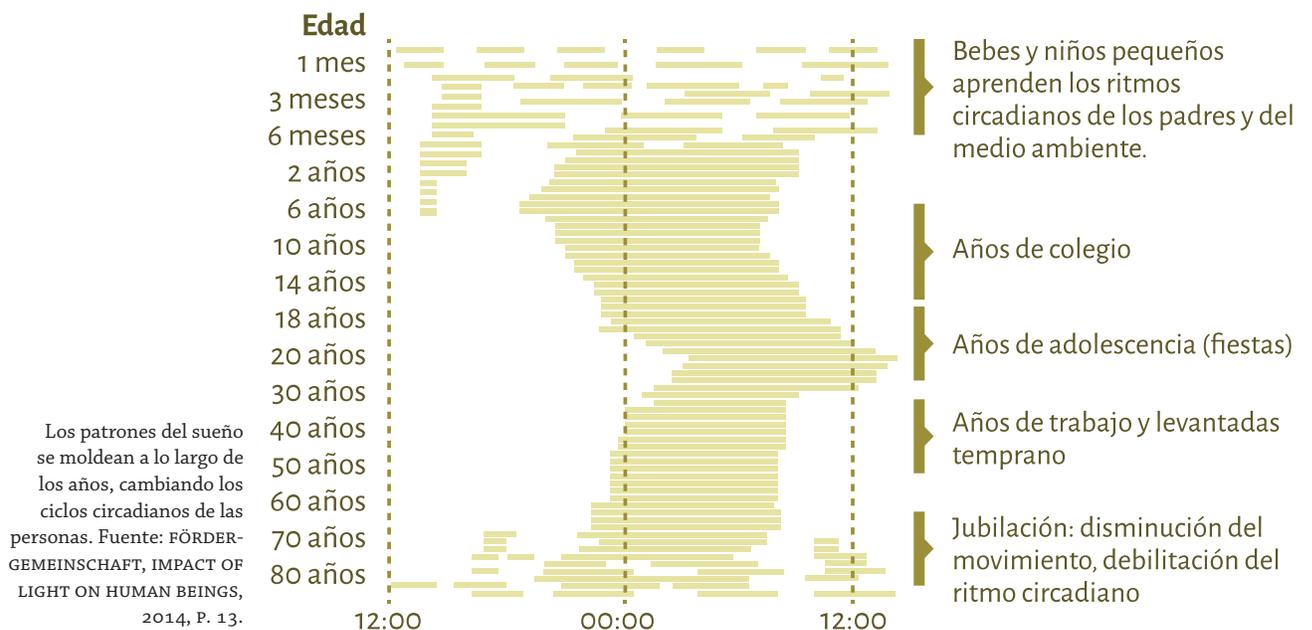
Se produce un problema, por ejemplo, cuando el cuerpo no recibe la suficiente luz natural durante el día en las diferentes estaciones del año. Y aunque sea un proceso natural, no todo es perfecto. Nuestro cuerpo recibe menos luz en invierno, lo que se traduce en dificultades para concentrarse, mayor estado de somnolencia, aumento de peso y de los niveles de azúcar en la sangre debido al aumento del apetito. Y en algunas personas el problema va más allá y padecen de una depresión llamada SAD (*seasonal affective disorder*). (BURNETT, CIRCADIAN ADAPTATIVE LIGHTING, 2012, p. 25).

De acuerdo al Greenwich Mean Time (GMT), en Chile nos corresponde el tiempo universal coordinado (UTC)-5, pero se adoptó la medida de regirnos en invierno por el (UTC)-4, y en verano por el (UTC)-3. El punto es que así, no cumplimos con el horario solar. Cuando fijamos la hora, a las 12 del día (mediodía) debería ser el momento en el que el sol está en el punto más alto del cielo, y de esa manera aprovechar las máximas horas de luz disponibles. Sin embargo, eso no sucede en nuestro país. En horario de verano tenemos dos horas de adelanto con respecto a la posición del sol, por lo que no se aprovechan todas las horas de luz solar disponibles. Siendo absurdo para el cuerpo ya

que somos un organismo diurno. Y es por eso que nuestro cuerpo se ve afectado cuando despertamos de noche, ya que las funciones internas se ejecutan cuando sentimos luz natural y no cuando suena nuestro despertador.

Otro factor que afecta nuestro ciclo circadiano tiene que ver con la luz artificial y el ritmo de vida actual. Vivimos en una sociedad donde pasamos casi el 80% del día en lugares con poca o nula iluminación natural, la cual debemos suplir con luz artificial. La incorrecta exposición a esta iluminación produce desfases en nuestro ciclo de sueño y vigilia.

“Long days spent bathed in electric light, most of which operates at a fixed color temperature and intensity throughout the day, is throwing off the rhythm of a natural sleep/wake cycle. Our constant interaction with computers and personal electronic devices, with their cool light-emitting screens, is making matters worse.” (USAI LIGHTING, COLOR SELECT, 2015, P. 2).

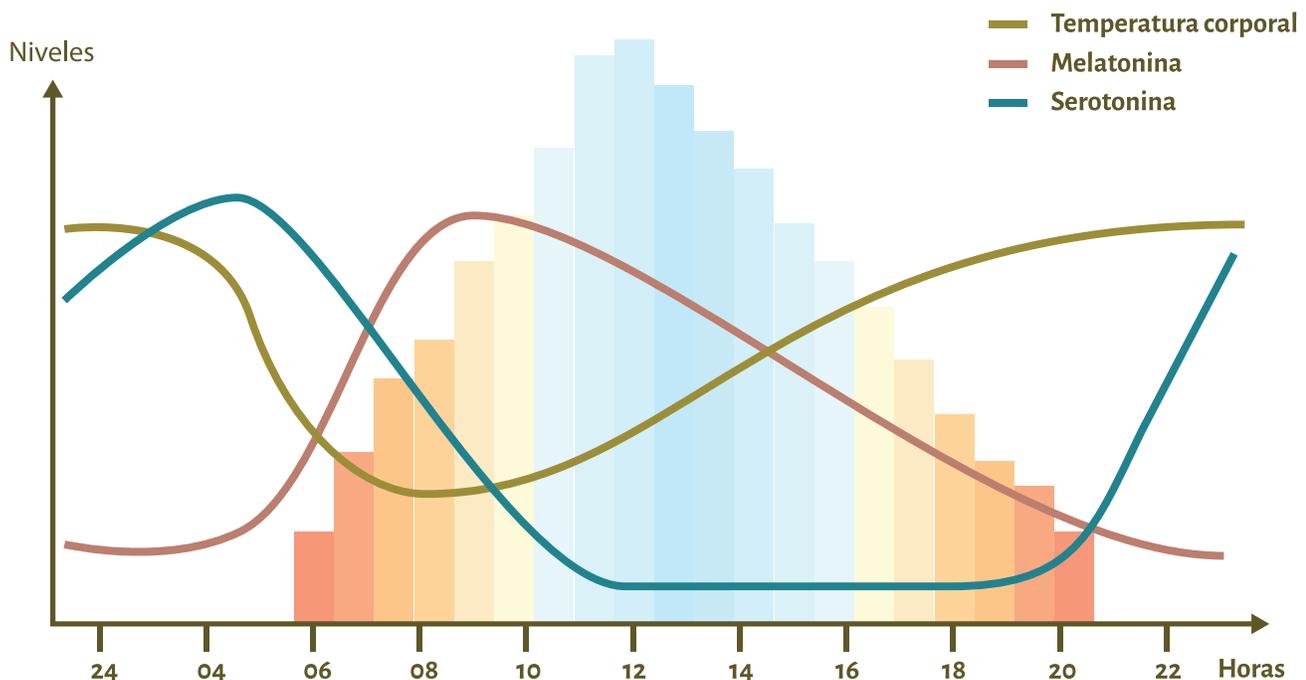


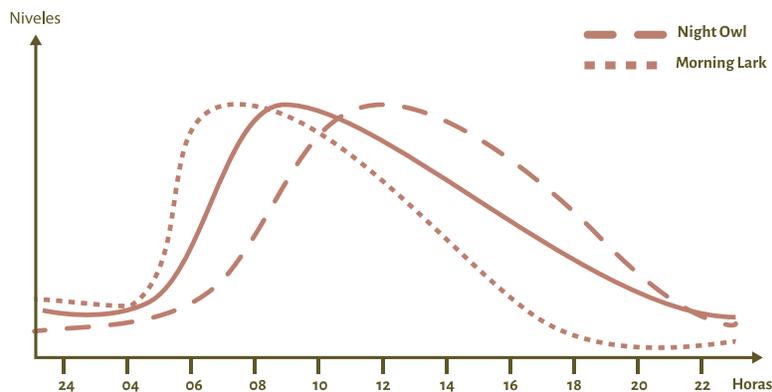
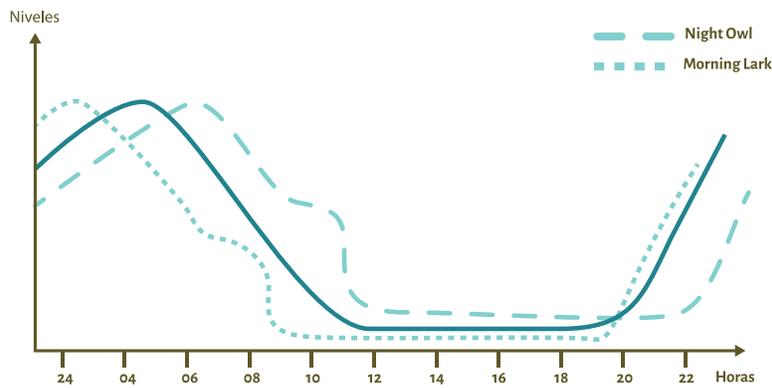
Por otro lado, más allá de los factores externos que influyen en nuestro ciclo, hay factores internos que varían entre las personas y según la etapa de la vida. En el siguiente esquema se visualizan los ciclos de sueño aproximados por edades, donde se demuestran las diferencias a lo largo de la vida.

Además, entre personas de una misma edad existen diferentes cronotipos identificados por sus ciclos de sueño. Seguramente todos conocemos a alguien que tiene mayor facilidad para despertarse temprano y rendir durante la mañana, así como también, existen quienes son capaces de realizar sus tareas hasta altas horas de la noche. Estos distintos cronotipos se explican con los siguientes gráficos.

“Generically we are all equipped with different lengths of the endogenous clocks, meaning some people have an internal rhythm being slightly shorter than 24 hrs and some slightly longer. In modern terms this phenomenon is defined by our chronotype, most commonly divided into two types: known as Morning Larks and Night Owls people. Morning Larks tend to get up early in the morning and go to sleep early at night. Night Owls show the opposite behaviour.” (LIGHTEN, 2015)

Ciclos circadianos de la melatonina y serotonina.
Fuente: LIGHTEN, 2015.





Comparación de los ciclos de serotonina (1) y melatonina (2) de los diferentes cronotipos y el ciclo ideal.
Fuente: LIGHTEN, 2015.

Gracias a los diversos estudios que se han realizado con respecto a la des-sincronización de los ciclos circadianos, se ha buscado combatir los trastornos y desórdenes mediante terapias de luz específicas y controladas. Estos sistemas de iluminación se centran en los efectos biológicos, la re-sincronización de los ciclos, y en el dinamismo y flexibilidad de los componentes lumínicos.

Por ejemplo, el desorden afectivo estacional producto de la insuficiente cantidad de luz percibida para impedir la producción de melatonina, genera en el cuerpo un estado de cansancio, dificultad para concentrarse y la necesidad de dormir a todas horas, sobre todo, en los meses más oscuros del año. La terapia de luz utilizada en la mayoría de estos casos, se basa en la exposición concentrada de 30 min en un ambiente con luz de amplio espectro, 6.500 °K y alrededor de 10.000 lux. (FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014, p. 24)

Otro efecto fisiológico en el cuerpo causado por la des-sincronización del reloj biológico es el llamado *jet-lag* y el "*jet-lag artificial*". El primero producto del cambio de horario y de los ciclos del sueño, experimentado por personas que viajan y atraviesan zonas horarias. Sus síntomas son la fatiga corporal y la confusión mental. Normalmente, el ciclo se reajusta a los pocos días de aterrizar en el destino y no se requiere una mayor intervención. A diferencia del segundo, que se produce más que nada por la ausencia persistente de luz natural. Se da mayormente en personas con trabajos nocturnos o con trabajos de turno y rotación. Sus síntomas son el insomnio, el despertar prematuro, déficit inmunitario, entre otros, y una de las terapias recomendadas en este tipo de desorden es el incremento programado de la intensidad de la luminosidad y la creación de patrones luminosos. (BURNETT, CIRCADIAN ADAPTATIVE LIGHTING, 2012, P. 25)



CAPÍTULO II:

ILUMINACIÓN Y EDUCACIÓN

“La educación es el arma más poderosa que se puede usar para cambiar el mundo”

— Nelson Mandela

a. Educación en Chile

El sistema educativo en Chile está en pleno proceso de cambios y reformas, más recientemente en la educación superior, pero el tema se viene abordando desde hace varios años en la etapa escolar. Este sistema está regido por la Ley General de Educación (LGE, 2009) y se regula y vigila por el Ministerio de Educación (MINEDUC). Dentro de éste, el Consejo Superior de Educación es el encargado de las solicitudes de reconocimiento oficiales para instituciones académicas, verificar su desarrollo, y establecer sistemas de exámenes y acreditaciones.

En Chile, el derecho a la educación y a la libertad de enseñanza están garantizados por la Constitución. Los establecimientos que imparten educación deben cumplir con objetivos y contenidos mínimos obligatorios establecidos según las leyes. Éstos consideran conceptos como universalidad y educación permanente, calidad, equidad del sistema, autonomía, diversidad, responsabilidad, participación, flexibilidad, transparencia, integración, sustentabilidad e interculturalidad. Aún así, existen una serie de problemas con respecto al acceso a la educación y la calidad de ésta (UNESCO, 2010).

Según el Índice de Desarrollo de las Naciones Unidas, Chile se encuentra dentro de los mejores países de Latinoamérica en educación. En este índice se miden los niveles de alfabetización, el gasto en educación, tasa bruta de matrícula, años de educación, etc. Sin embargo, estamos lejos de los índices de países pertenecientes a la OCDE (UNESCO, 2012).

Al MINEDUC, desde 1990 según la Ley Orgánica Constitucional de la Enseñanza, le corresponde una gran cantidad de tareas y responsabilidades para con el sistema educativo, de las cuales, para efectos de este proyecto, cabe destacar el “diseñar, implementar, fiscalizar y evaluar los programas de mejoramiento e innovaciones educativas, que apoyen las políticas ministeriales” y el “establecer las condiciones y desarrollar la normativa que permita



a la existencia y funcionamiento de los mecanismos que aseguren la calidad de las instituciones de educación superior” (UNESCO, 2010).

Las bases curriculares de educación básica y media que establece el Ministerio dan la estructura mínima de objetivos que cada nivel en cada asignatura debe alcanzar. Esto refiere al nivel de conocimiento que cada alumno debe tener al final del curso, pero las bases curriculares no demandan una base ni un programa educativo; la programación horaria está sujeta a la programación de cada establecimiento.

“Cada colegio en sí tiene un propio proyecto educativo, y así funciona tanto en el sistema público como privado. El sistema privado tiene mayor libertad, pero ambos reportan al MINEDUC. Sin embargo, cada establecimiento decide por su cuenta la manera en que crea su horario o programa educativo según la formación que quieren entregar. Si bien existen normativas relativas a la programación académica, dada la flexibilidad que he visto, los programas educativos son propios de cada unidad” (P. MANNS, ENTREVISTA PERSONAL, 6 de junio de 2016).

b. Entorno de aprendizaje e infraestructura escolar

Como en todo espacio habitable, existen una serie de requisitos imprescindibles para que dicho espacio cumpla su función y satisfaga las necesidades para las cuales fue construido y adaptado.

Las salas de clases de los colegios no quedan exentas de esa primicia. Los estudiantes pasan una gran cantidad del tiempo diario sentados dentro de ellas. En este lugar es donde aprenden muchas de las habilidades y contenidos que posiblemente les ayudarán a alcanzar el éxito en el futuro. Entonces, al ser la sala de clases un lugar tan importante

dentro del crecimiento de los niños, es necesario entender de qué manera ese ambiente afecta en los alumnos para poder obtener la máxima efectividad en el aprendizaje. Como el colegio es el que cumple este rol de dar un ambiente propicio para el estudio, es necesario tomar todas las medidas posibles para lograr hacer de este lugar un espacio que ayude y beneficie a los alumnos.

Un estudio realizado por la Universidad de Salzburgo el año 2012 en Blackpool, Inglaterra, y publicado en la revista *Building and The Environment*, estableció que el diseño de una sala de clases puede contribuir con casi un 25% de impacto, positivo o negativo, en el progreso de un estudiante durante el transcurso del año académico.

Éstas deben estar equipadas con todo lo necesario para realizar las actividades de cada asignatura y para cumplir con los objetivos que quiere entregar el colegio. Además, el aula debe estar diseñada idealmente para aprovechar la mayor cantidad de luz natural posible y lograr confort visual. Sin embargo, esto es una problemática debido a que los colegios se construyen como un todo y al momento de pensar en su estructura y orientación (con respecto al sol), se visualizan en general y no necesariamente para las actividades que se van a realizar en cada una de las salas. Y por cierto que considerar de antemano esto sería difícil, ya que cada curso cuenta con una sala, teniendo diferentes y muy variadas asignaturas y actividades dentro de ella, y que además, año a año los alumnos van cambiando de sala, por lo que la flexibilidad debiese ser un punto clave.

Dentro de las componentes que deben considerarse para una sala se incluye:

- ✔ Cantidad de aberturas que permiten el ingreso de luz natural
- ✔ Calidad y cantidad de iluminación artificial disponible
- ✔ Calidad y ergonomía del mobiliario
- ✔ Sonido y temperatura ambiental
- ✔ Color de paredes y flexibilidad de la sala

Como se dijo, la luz natural es fundamental en el cuerpo humano para su buen funcionamiento y salud, por lo que es necesario contar con medios para el ingreso de luz natural como ventanas o puertas que den al exterior. Por otro lado, la luz artificial también es necesaria en calidad y cantidad para suplir la falta de luz natural en días oscuros o en horarios menos luminosos.

Por otro lado, la comodidad del alumno en la sala es fundamental para que éste pueda estar atento a las instrucciones y contenidos que el profesor imparte, siendo la buena calidad y ergonomía del mobiliario un punto a favor.

El sonido (acústica interior y exterior) y temperatura ambiental también juegan un rol importante para mantener la atención y concentración de los estudiantes. Así mismo, las condiciones ambientales proporcionadas por la calefacción y ventilación del recinto influyen en la salud y bienestar de los estudiantes y profesores.

Como estimulador visual, el color de la sala también es relevante para la concentración. Y por último, la flexibilidad del layout de la sala, para las diversas actividades, puede ser un componente bastante efectivo para el dinamismo e interacción durante las clases.

Puede que el efecto de aplicar individualmente alguno de estos puntos no sea tan significativo. Sin embargo, si actúan en conjunto, apoyan con gran fuerza el buen aprendizaje de los estudiantes.

“Physical environmental elements such as lighting, heating and acoustics are three aspects that should consider in school’s environment. As well as the overall design of the school, this will surround these aspects” (SAMANI, 2012, P. 135).

Queda claro entonces que el bienestar de los alumnos es fundamental para que puedan desempeñarse correctamente en una sala de clases y que

estén bajo las condiciones óptimas que se requieran en determinada actividad. Este bienestar se puede lograr mediante la correcta inversión en el ambiente de clases. Hoy en día, gracias a la rapidez con que crece la tecnología, es cada vez más fácil y accesible mejorar los espacios educacionales.

El 2012 se realizó una investigación en Malasia, donde se constató lo importante y necesario de una buena iluminación en un ambiente de aprendizaje como lo es una sala de clases. Los diseñadores y arquitectos deben ser capaces de diseñar espacios donde los alumnos puedan desarrollar mejor sus capacidades en base a lo que tienen a su alrededor. Ya que todos los elementos que existen en un entorno tienen un rol e impacto directo en la manera en que se desarrolla una persona. Si existen distractores u objetos que ponen incómodo a alguien, éste tendrá diferentes resultados en su desarrollo y aprendizaje versus una persona que está en un ambiente óptimo y diseñado para su objetivo (SAMANI, 2012).

Por otro lado, el diseño de una buena sala de clases no sólo está enfocado en los alumnos. Los profesores también pueden beneficiarse de esto, estando en un ambiente con mejor sintonía con los alumnos para realizar una “buena clase”. La manera en que los educadores organizan, planifican y controlan la clase trae consecuencias para sus alumnos (HANNAH, 2013). Además, ellos también son un factor condicionante del proceso de aprendizaje para los estudiantes. Su preparación, formación académica, experiencia, estilo de vida, motivación y entrega a los estudiantes, son variables a considerar.

“Understanding the relationship between light and the environment can help designers or architects to improve interior designs for better performance” (SAMANI, 2012, P. 127).

c. Condiciones de iluminación en establecimientos educacionales en Chile (casos reales)

La variable iluminación es considerada mayormente como un factor únicamente visual y que posibilita el uso de las salas en horarios de oscuridad. Pero no se toma en cuenta, por desconocimiento, la influencia de la luz en los estudiantes y en el proceso de aprendizaje. Y sobre todo con los cambios en la educación moderna, donde hemos ido pasando desde una educación rígida y estructurada a una flexible y dinámica, donde la metodología de enseñanza se basa en proyectos de comunicación y expresión, donde los alumnos deben desarrollarse y desenvolverse en diferentes escenarios. Esto permite y necesita la incorporación de sistemas que faciliten la flexibilidad y el cambio dentro de la misma sala de clases, para las diversas actividades que realizan. Y en este contexto, la buena iluminación es un requerimiento vital para la concentración, la relajación, aumentar los niveles de alerta, entre otros.

Chile cuenta con programas e iniciativas que han ayudado a fortalecer el desarrollo de mejores prácticas y condiciones en el sector de la educación, y poco a poco, ha integrado en sus políticas medidas de eficiencia energética y sustentabilidad en sus proyectos.

Algunas de estas iniciativas son:

- ✔ Proyecto BID “Aprendizaje en las Escuelas del Siglo XXI”
- ✔ Manual para la Gestión Ambiental de Establecimientos Educacionales, Residuos, Energía y Agua
- ✔ Guía de Diseño para la Eficiencia Energética en la Infraestructura Escolar
- ✔ Proyecto Innova-Corfo: “Evaluación de las estrategias de diseño constructivo de estándares de calidad ambiental y uso.

El Sistema Nacional de Certificación Ambiental de Establecimientos Educativos (SNCAE), desarrolla líneas de acción complementarias al proyecto educativo de cada establecimiento, de manera de apoyar la educación ambiental, el cuidado y protección del medio y crear redes asociativas para la gestión ambiental. Su principal fin es culturizar a la sociedad escolar en temas de sustentabilidad, promoviendo valores y hábitos de conservación. Sin embargo, es una certificación de conocimientos y programas educativos que no implica establecer políticas ni infraestructura en el establecimiento, que sigan esa misma línea y sean coherentes con lo que se enseña. Aún no se aplica la lógica de enseñar y aplicar al mismo tiempo.

Lo que sí es aplicable en Chile, es la norma NCH Eléctrica 4/2003 donde se establecen los niveles de iluminación mínimos para recintos educacionales, y que dependen del uso que se le quiera otorgar a cada sala o lugar. Para determinar la potencia eléctrica necesaria a instalar para alumbrado de recintos educacionales, se deberá tener en cuenta el nivel de iluminación requerido, el tipo de fuente luminosa y el área del recinto por iluminar. Todo está especificado en una tabla muy general sin detallar las actividades que se realizan al interior.

Iluminancias mínimas para locales educacionales y asistenciales. Fuente: NORMA CHILENA 4/2003.

| Tipo de Recinto | Iluminancia [Lux] |
|--|-------------------|
| Atención administrativa | 300 |
| Bibliotecas | 400 |
| Cocinas | 300 |
| Gimnasios | 200 |
| Oficinas | 400 |
| Pasillos | 100 |
| Policlínicos | 300 |
| Salas de cirugía menor | 500 |
| Salas de cirugía mayor, quirófanos (*) | 500 |
| Salas de clases, párvulos | 150 |
| Salas de clases, educación básica | 200 |
| Salas de clases, educación media | 250 |
| Salas de clases, educación superior | 300 |
| Salas de Dibujo | 600 |
| Salas de Espera | 150 |
| Salas de Pacientes | 100 |
| Salas de Profesores | 400 |



Pero que exista una norma no quiere decir específicamente que se cumpla y se mantengan los niveles en todos los colegios. Gracias al siguiente levantamiento de información, realizado durante los meses de octubre y noviembre, podemos visualizar la realidad de algunos colegios de Santiago y sus condiciones lumínicas bajo la norma, donde la situación económica no ha sido un factor determinante en la elección del sistema de iluminación. (TODAS LAS FOTOS SON PROPIEDAD DEL AUTOR)

Em = 202,54 lux
 Emáx = 279 lux
 Emín = 121 lux

Em = 204 lux
 Emáx = 308 lux
 Emín = 117 lux





Em = 203, 375 lux
Emáx = 324 lux
Emín = 96 lux

Em = 194,75 lux
Emáx = 250 lux
Emín = 127 lux

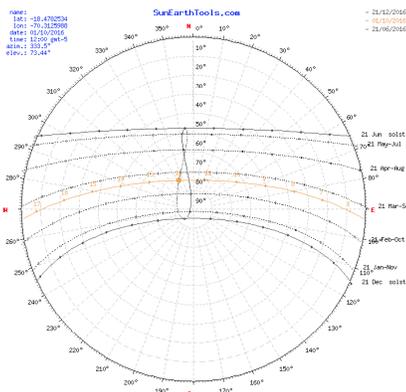


Por otra parte, Chile debido a su particular geografía de ser un país de aproximadamente 4.300 km de largo y bastante angosto, presenta una gran diversidad climática de norte a sur. Su geografía permite dividirlo en tres grandes zonas. En el norte nos encontramos con un clima desértico de valle y en altura, con la mayoría de los meses muy secos y con bajas precipitaciones. El centro del país presenta un clima mediterráneo, muy marcado por las estaciones del año, donde en verano hace mucho calor y hay mucho sol, y en invierno frío, lluvias y días oscuros y nublados. Finalmente, el sur de nuestro país es muy lluvioso, bajas temperaturas, existen pocos meses del año con radiación solar constante y muchos meses de lluvia y oscuridad.

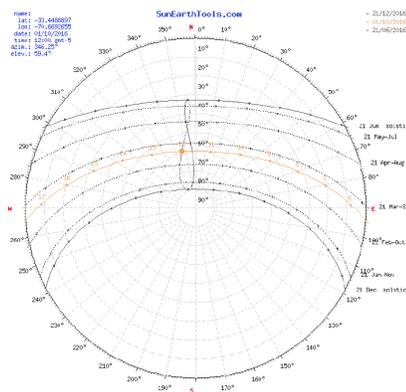
Estas particularidades climáticas representan una dificultad a la hora de crear un sistema único y estructurado para todo el país. Cada recinto específico, zona geográfica, y estación del año condicionan totalmente las características de iluminación artificial necesarias. Si se identifican y analizan los diferentes parámetros climáticos, se podrá diseñar un ambiente adecuado, que presente las mejores condiciones ambientales para los estudiantes y profesores, y de ahorro energético para el establecimiento.

RADIACIÓN SOLAR: Fenómeno físico debido a la emisión de energía por parte del sol en forma de radiaciones electromagnéticas. Estas radiaciones pueden ser cuantificadas y se expresan en unidades de irradiancia, una unidad que refleja su potencia por unidad de superficie.

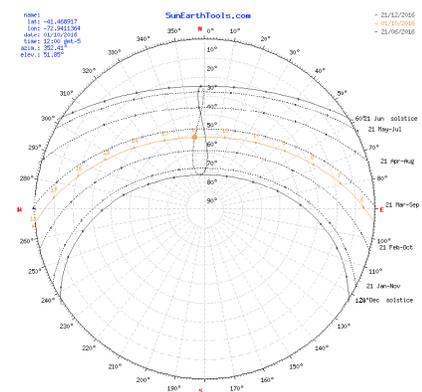
Cartas solares del norte, centro y sur de Chile.
Fuente: [HTTP://WWW.SUNEARTHTOOLS.COM/](http://www.sunearthtools.com/)



Arica



Santiago



Puerto Montt

d. Parámetros de confort ambiental internacionales

La normativa de las condiciones mínimas en los diferentes establecimientos y recintos no es universal. Cada país se rige por su propia normativa, donde los índices y parámetros recomendados varían.

La planificación de la iluminación no se puede limitar únicamente a principios técnicos si no que debe incluir parámetros de confort visual para los usuarios del recinto iluminado y los efectos biológicos que la luz produce en las personas.

| | | | | | | |
|---|---|--|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |  |
| NCh 4/2003 | Ministerio de Cultura y Educación de la Nación | Ministerio de Educación de Perú | UNE-EN 12465 | DIN 5015 | IESNA | Building Bulletin 87 |
| 200 lux salas de EB 250 lux salas de EM 300 lux salas de ES | 500 lux salas 1000 lux pizarra 1000 lux dibujo | 350 lux salas | 300 lux salas 500 lux pizarra 500 lux dibujo | 200 lux salas 500 lux pizarra 1000 lux dibujo | 300 lux salas 500 lux pizarra 500 lux dibujo | 300 lux salas 500 lux pizarra 750 lux dibujo |

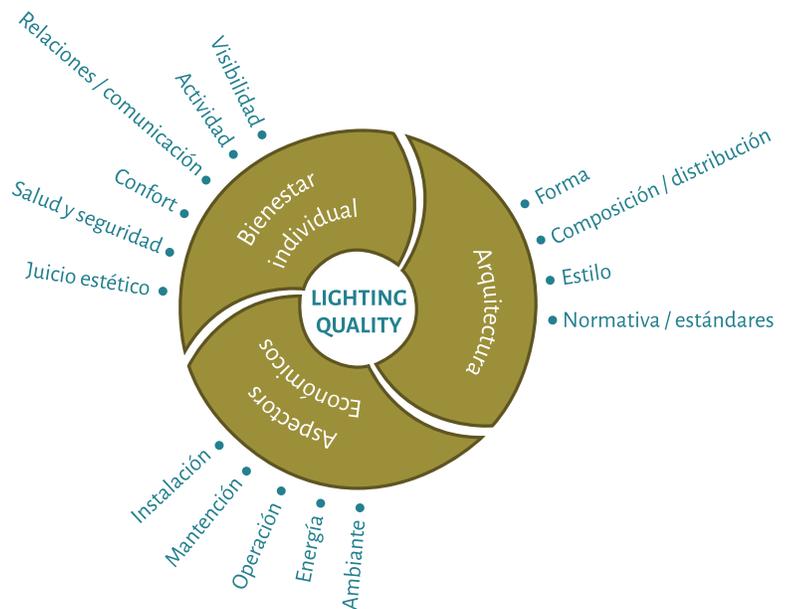
Parámetros de confort ambiental recomendados para los niveles de iluminación. Fuente: GARCÍA-HUIDOBRO, PROYECTO DE TÍTULO, 2014, P. 59.

e. Incidencia lumínica en estudiantes

“Good light is a vital requirement in a learning environment. Studies show that biologically effective lighting impacts positively on learning and helps students concentrate and work more attentively” (FÖRDERGEMEINSCHAFT, 2014, p. 38)

Según el modelo de Veitch y Newsham (1998) citado en *The Impact of Indoor Lighting on Students' Learning Performance in Learning Environments* (SAMANI, 2012), la calidad en la iluminación es una mezcla integrada entre el bienestar individual, la economía y la arquitectura. Donde todos estos conceptos se integran y deben funcionar en conjunto para tener un resultado óptimo.

En este mismo estudio de Samani (2012), se concluyó que una apropiada iluminación podía aumentar la productividad y desempeño, disminuir el cansancio y fatiga visual, y mejorar las oportunidades de éxito de las personas sometidas a esta iluminación.



Modelo de Veitch y Newsham. Fuente: SAMANI, 2012, P. 129.

Diversos estudios realizados en Gran Bretaña, Alemania, Dinamarca y Malasia demuestran el impacto positivo que tiene una buena iluminación en el desarrollo escolar. Impacto traducido en el aumento de la velocidad de lectura, en la concentración, en mejores calificaciones, etc. La idea de manejar y controlar la iluminación en el aula ha tomado fuerza gracias a estos estudios. Manipularla para que ésta se ajuste a las tareas a realizar, afectando la concentración, estado anímico y motivación dependiendo de la intensidad, dirección y color.

Dado todos los estudios realizados y la relación del aprendizaje con los efectos de la luz en el cuerpo, la importancia de una iluminación basada en el ciclo natural de la luz es evidente. Es así como nace el concepto de iluminación circadiana, refiriéndose a todo sistema de iluminación que simule lo más posible el ciclo de la luz solar, la variación de temperatura de color e intensidad a lo largo del día, mediante sistemas de iluminación dinámicos y flexibles.

▣ ILUMINACIÓN DINÁMICA: tal como lo dice su nombre, es una iluminación que permite la variación, ya sea de manera gradual o abrupta, de diversos factores de la luz, tales como intensidad, temperatura del color, dirección, entre otras, acomodándolo a necesidades específicas.

Como se nombró anteriormente, la luz natural es fundamental para el funcionamiento interno del cuerpo y el reloj biológico. Sin embargo, aún cuando se intenta captar la mayor cantidad de luz natural posible en los recintos, es necesario adicionar luz artificial. Tanto por la arquitectura de los lugares como por las mismas variaciones incontrolables de la luz a lo largo del día; como por ejemplo, las nubes y lluvias. Mientras más cercana sea la luz artificial a la luz natural, mayor efecto se producirá en las personas y mejor será su bienestar.

En los años recientes, numerosos estudios han expuesto que la iluminación *daylight-like* o iluminación circadiana provoca importantes estímulos en los ritmos circadianos de los estudiantes. Como por ejemplo, están más alertas en las mañanas, rinden mejor en las distintas asignaturas según sus requerimientos, aumenta la concentración y memoria, y disminuye significativamente la cantidad de errores cometidos. (FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014)

Un simple LED con el manejo apropiado puede entregar un rango de diferentes tonos de luz. La iluminación LED con control dinámico del color permite una variación eficiente que puede beneficiar tanto a la concentración y alerta, como al relaxo y la calma. De esta manera, el efecto biológico y visual se pueden balancear y variar de acuerdo a lo requerido.

f. Casos de estudio y resultados de iluminación dinámica aplicada en establecimientos educacionales (internacionales y nacionales)

La empresa de iluminación Philips junto a las Universidades de Texas y de Mississippi (Estados Unidos) realizaron una investigación el año 2009 en base a la iluminación dinámica. Se ejecutó un modelo experimental en dos grupos de niños entre 8 y 10 años. Unos fueron examinados con luz normal, mientras que al segundo grupo se le hizo el estudio aplicando luz controlada y focal. Al término del experimento, hubo una clara diferencia en el incremento de la concentración y aprendizaje del segundo grupo por sobre el primero. Estos resultados fueron medidos con pruebas al inicio y final del testeo, utilizando una reconocida prueba de medición llamada D2-test de Brickenkamp y Zilmmmer, que mide concentración, velocidad de respuesta y cantidad de errores (MOTT ET AL, 2012).

Alumnos en las salas con instalaciones de iluminación mejoraron en aproximadamente 30 a 40 puntos en el D2-test.

Luego de este primer experimento, Philips desarrolló un sistema llamado *SchoolVision*. Éste consiste en una iluminación controlada con 4 niveles distintos de iluminancia y temperatura, los cuales se ocupan según las actividades que se realizan en la sala de clases.

Este sistema, testeado en escuelas en Hamburgo, Alemania, tenía los siguientes niveles ajustados a patrones de luz natural:

“We saw for ourselves and the results confirmed that the specific application of light really can have a positive effect on learning and the learning environment” (WIEDEMANN CITADO EN PHILIP’S LIGHTING, S.F).

- ❑ NORMAL (500 Lux / 3.500 °K): Niveles de iluminación tradicionales para las actividades habituales.
- ❑ FOCUS (1000 Lux / 6.500 °K): Para momentos de concentración y enfoque (exámenes y pruebas).
- ❑ ENERGY (650 Lux / 12.000 °K): Para generar un entorno activo al comienzo del día y después de almuerzo.
- ❑ CALM (300 Lux / 2.700 °K): Para un ambiente de calma después de períodos activos.

Algunos de los resultados arrojados por este testeo fueron el aumento de un 34,8% en la velocidad de lectura, desde 780 a 1.050 palabras por minuto. Se redujeron los errores por falta de concentración en un 50% y la inquietud bajó en un 76% (MOTT ET AL, 2012).

Otros testeos fueron realizados en escuelas europeas, donde se midieron niveles de concentración, velocidad de lectura, y otras capacidades cognitivas, al inicio y término del estudio, obteniendo resultados notorios, de mejora, en los alumnos.

En particular, uno de los estudios realizados en Londres, por la Universidad de Lund durante 4 meses, mostró grandes cambios sobre todo en los meses más oscuros del año, donde la luz artificial cumplió un rol preponderante en suplir la falta de luz solar y ayudar a regular el ciclo natural del cuerpo gracias a la iluminación. Si hacemos un paralelo con nuestro país, las condiciones lumínicas de Londres, lugar donde se realizó el estudio, serían como las de Puerto Natales (ambas ciudades se encuentran a la misma latitud). Esto es alrededor de 8 horas de luz solar en invierno. Este estudio es particularmente relevante ya que podemos ver que al aumentar la dependencia de luz artificial para realizar actividades cotidianas, las mejoras obtenidas al tener una iluminación controlada son aún mayores (GOVÉN, 2009).

A finales del año 2011, la empresa OSRAM junto al *Transferzentrum für Neurowissenschaft und Ler-*

nen (Centro de Transferencia para la Neurociencia y el Aprendizaje) desarrollaron otra investigación respecto del tema en Ulm, Alemania. Nuevamente los resultados obtenidos muestran que el efecto positivo de la iluminación en los estudiantes. Ésta es un factor que los ayuda a tener un mejor rendimiento en clases, estar más concentrados con iluminación fría y más relajados al estar expuestos a una iluminación más cálida. En el año 2013 instalaron en el mismo colegio (Miesbach High School) un sistema permanente en base a los resultados obtenidos y esperan llegar a más conclusiones sobre los efectos en la salud de esta medida en el mediano plazo.

En Sonthofen, al sur de Alemania, se reemplazó la iluminación de un colegio por todo un sistema dinámico, el cual estaba compuesto por diversos equipos en base a 3 escenarios principales:

- ❑ Luz general basada en la luz circadiana: iluminación con el mayor aprovechamiento de luz natural y el nivel óptimo de luz artificial, para motivar a los estudiantes y al mismo tiempo ahorrar energía.
- ❑ Luz específica para utilizar proyector de presentaciones: iluminación ajustable de acuerdo a la presentación o video proyectado, disminuyendo el brillo general y la iluminación directa al lugar de proyección, utilizando un *dimmer*.
- ❑ Luz para trabajo concentrado: iluminación en un 100% para el desarrollo de tareas específicas, con altos niveles de concentración.

El sistema completo, llamado *Dimlite School Kit*, incluía componentes de control inteligente, capacidad de definir los distintos escenarios de acuerdo a lo requerido, un sensor de luz natural y un control remoto para tener la posibilidad de manejar los escenarios manualmente. Todo esto basado en los estudios sobre el tema para beneficiar la salud de los estudiantes y el ahorro energético en el establecimiento. (ZUMTOBEL, LIGHT FOR EDUCATION AND SCIENCE, 2010, p. 15)



CAPÍTULO III:

ILUMINACIÓN Y ENERGÍA

“Ahorrar energía es tarea de todos”

— Campaña AChEE

a. Energía y medio ambiente

La energía eléctrica es fundamental para el sistema de vida que llevamos en la sociedad actual. Dependemos de ella para el funcionamiento de la ciudad, la prestación de muchos servicios y elaboración de productos que consumimos. Además, sabemos que los recursos utilizados para producirla son, en la mayoría de los casos, limitados. Es por esto que es de suma importancia aprovecharlos adecuadamente, de manera responsable y eficiente.

La iluminación consume alrededor del 15% de toda la electricidad mundial. (AGENCIA INTERNACIONAL DE LA ENERGÍA, 2014)

Es por esto, que la mayoría de los esfuerzos por reducir el consumo energético involucran ahorros en la iluminación.

Contaminación y cambio climático

El cambio climático es la variación significativa en el clima que ha afectado a nuestro planeta, producto de la alteración en la composición de la atmósfera por la actividad humana. Muchos de los procesos de generación de energía que utilizamos, producen contaminación para el medio ambiente. Sobre todo con los combustibles fósiles, que se utilizan en mayor medida porque históricamente han sido económicamente más viables como fuente principal de producción. Sin embargo, esto no es sustentable en el tiempo.

El ritmo de vida actual, es decir, el desarrollo tecnológico, el crecimiento poblacional y el mayor bienestar que tenemos, nos han llevado a necesitar una mayor generación de energía que permita la satisfacción de necesidades de la población.

Aún más, estudios demuestran que es imposible sostener el ritmo de vida que llevamos, ya que las tendencias de consumo y generación de energía actuales no nos permitirán satisfacer la demanda por



este recurso a futuro. Esto plantea desafíos en dos ámbitos; generar más energía mediante procesos limpios y sustentables, siguiendo las regulaciones y políticas que se están implementando hoy en día, y por otro lado, disminuir el consumo y hacerlo más responsable.

La AIE alertó desde hace más de 6 años que el mundo se encamina a un futuro energético insostenible:

“Los Gobiernos necesitan introducir fuertes medidas para canalizar inversiones en tecnologías eficientes”, subrayó la directora ejecutiva de la institución dependiente de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), María van der Hoeven, quien señaló que el récord de emisiones de CO₂ registrado el último año subraya la “urgencia y la escala del desafío” (CITADO EN EUROPAPRESS, 2012).

Protocolo de Kioto

Dentro de este contexto, surge el Protocolo de Kioto; instrumento jurídico al que se adhieren países industrializados, asumiendo un compromiso ambiental y estabilizando sus emisiones de gases de efecto invernadero.

Este protocolo se creó en 1997 como consecuencia de la preocupación mundial que existía en esos momentos por la crisis ambiental y calentamiento global. Ha movido a los gobiernos a establecer leyes y políticas para cumplir sus compromisos, y a las empresas a tener en cuenta el medio ambiente a la hora de tomar decisiones sobre sus inversiones.

El año 2015 se firmó el Acuerdo de París, donde se establecen medidas y nuevos protocolos aplicables a partir del año 2020, cuando finalice la vigencia del protocolo de Kioto.

b. Eficiencia energética

Bajo esta misma línea de consumir responsablemente, cuidar el medio ambiente y aprovechar de buena manera los recursos, surge el concepto de eficiencia energética (EE). El uso eficiente de la energía es reducir la cantidad de energía que utilizamos, pero conservando la calidad de los productos o servicios generados.

Este concepto se basa en tres grandes beneficios. En primer lugar, permite el ahorro de dinero; en el sector doméstico porque se gasta menos en energía eléctrica y en calefacción. Esta reducción de costos es producto de construcciones bioclimáticas, equipos y artefactos electrodomésticos eficientes, hábitos de consumo responsable y ahorro en el transporte. En el sector industrial, se aplican reducciones en los costos de producción y operación, mejorando la competitividad de las empresas.

En segundo lugar, se ayuda al medio ambiente. Las soluciones que aplican eficiencia energética buscan disminuir el consumo de recursos naturales, reducir el deterioro del medio ambiente y disminuir las emisiones de gases contaminantes, de manera de tener menos daños a la salud y un menor aporte al cambio climático.

Por último, el país también se beneficia. Al aprovechar la eficiencia energética como país se disminuye la vulnerabilidad por dependencia energética externa. Además, mejora la imagen de éste disminuyendo sus barreras de exportación, al vender productos fabricados bajo estándares de eficiencia operacional y uso responsable de recursos naturales (“sello verde”). Por otro lado, aumenta el turismo ecológico en el país.

Entonces, podemos decir que con eficiencia energética podemos lograr “más” con menos energía; obtener mayor productividad y rendimiento de la energía, al mismo tiempo que una mayor rentabilidad y mejor gestión de los recursos. Con mejores hábitos, cultura e inversión en tecnologías se puede lograr ser eficientes energéticamente,

sin sacrificar el confort ni la calidad de vida de las personas.

Actualmente, el 70% de los países del mundo han creado programas de eficiencia energética, comprometiéndose con objetivos como asegurar el abastecimiento de energía en condiciones de eficiencia productiva, mantener el equilibrio con los recursos naturales disponibles y provocar el menor impacto ambiental posible, promover el uso de fuentes energéticas alternativas y renovables, estimular este mercado mediante incentivos económicos, y fomentar la investigación en materia energética.

De acuerdo a un estudio del *American Council for an Energy-Efficient Economy* en el que se midió la eficiencia del consumo energético, los países con mejor eficiencia son Alemania, Italia, China y Francia, Japón y Reino Unido, España, Canadá, Australia, India, Corea del Sur, Estados Unidos, Rusia, Brasil y México (BBC NEWS, 2015).

Un caso destacable y que recientemente sale a la luz es el de Noruega, país que luego de conversaciones y evaluaciones internas determinó que para el año 2025 ya no podrán circular vehículos a gasolina, sólo eléctricos. Estos automóviles son más eficientes, no producen contaminación atmosférica ni sonora directa, y disminuyen el consumo de petróleo del país. Si bien esta noticia fue publicada a principios de junio de este año, países como Alemania, Países Bajos e India, también están evaluando tomar medidas similares desde hace un tiempo.

En Chile, el Ministerio de Energía junto a distintas entidades y organizaciones han creado diversos planes de acción para disminuir la dependencia a las importaciones de combustibles, y para el 2020 lograr una generación del 20% proveniente de energías renovables no convencionales.

Al 2015, Chile aumentó su inversión en un 141% para energías renovables y todo indica que esta cifra tiene una pendiente positiva (EL MERCURIO, 2016). Las empresas cada vez más buscan invertir en proyectos que consideren buenas prácticas, tecnologías sustentables y limpias, y soluciones de eficiencia energética en sus proyectos.

La Agencia Chilena de Eficiencia Energética, es una fundación de derecho privado sin fines de lucro. Un organismo autónomo, técnico y ejecutor de políticas públicas en torno a la eficiencia energética. Como agencia, se encargan de apuntar a todos los sectores mediante programas que promuevan la eficiencia energética. La Agencia estima, en el balance anual del año 2012, que con estrategias activas de EE se podrá reducir anualmente el consumo global en 1,5%. Si se proyecta esta tasa de reducción y se valoriza en 10 años, puede significar valores acumulados por más de \$12 millones de dólares (ACHEE, 2014, P. 12).

| Sector | Ahorros en 2020 (Tcal) | Ahorros en 2020 (%) |
|---------------------|------------------------|---------------------|
| Industria y minería | 16.900 | 39 |
| Transporte | 5.000 | 12 |
| Edificación | 8.500 | 20 |
| Artefactos | 3.500 | 8 |
| Leña | 8.000 | 19 |
| Otros | 1.100 | 2 |
| Total | 43.000 | 100 |

Tabla de ahorros para el 2020. Fuente: MINISTERIO DE ENERGÍA.

c. Tecnologías y soluciones de eficiencia energética en la iluminación

Como se mencionó anteriormente, una componente considerable del gasto energético corresponde a artefactos de iluminación. De ahí la importancia específica de contar con medidas de eficiencia en este ámbito.

En cuanto a los productos que existen en el mercado, hoy en día éstos han evolucionado notablemente en cuanto a su eficiencia luminosa.

Más allá de los productos de iluminación artificial, como veíamos anteriormente según la empresa alemana *Fördergemeinschaft*, una buena iluminación cuenta con la interacción de aspectos funcionales (valores cuantitativos), aspectos perceptivos (valores cualitativos) y la componente de eficiencia energética.

Los criterios funcionales y perceptivos a considerar, a través del ambiente, rendimiento y confort visual, son diferentes dependiendo del espacio y el efecto deseado.

✔ Ambiente Visual: determinado por el color de la luz, la dirección y el modelamiento

✔ Rendimiento Visual: influenciado por los niveles de iluminación y la limitante deslumbramiento

✔ Confort Visual: garantizado por una buena representación del color y distribución del brillo.

Por otro lado, el criterio de eficiencia energética se basa en la combinación del diseño de una iluminación artificial (fuentes, ópticas, equipos, etc.), de la contribución de luz natural, en conjunto con la gestión y el manejo de ésta.

“Good lighting is lighting that meets human needs – and nowadays also environmental standards. Lighting quality and energy efficiency are not conflicting goals. With modern lighting technology, circadian effective lighting can be realised without jeopardising energy saving targets.” (FÖRDERGEMEINSCHAFT, IMPACT OF LIGHT ON HUMAN BEINGS, 2014, p. 32).

El desarrollo tecnológico ha sido un pilar fundamental de la historia de la humanidad. Se aceleró fuertemente durante la revolución industrial a fines del siglo XVIII, y desde entonces no ha dejado de acompañar cada ámbito de nuestras vidas. Llegando al día de hoy, en que el vertiginoso ritmo de desarrollo de nuevas tecnologías permite tener cada vez más soluciones novedosas para los problemas del día a día.

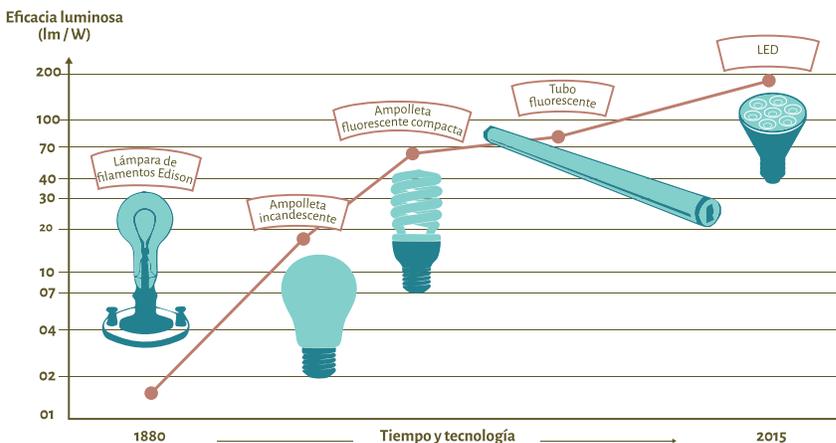


Gráfico de la evolución de la eficiencias de fuentes artificiales de iluminación. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, LIGHTING WITH ARTIFICIAL LIGHT, 2016, P. 14.

Y en los últimos años ha aparecido un nuevo concepto en el campo de la automatización y digitalización para una amplia gama de aplicaciones en diferentes instalaciones de una vivienda o recinto. La domótica es el conjunto de sistemas que automatiza dichas instalaciones. De esta manera se integran nuevas tecnologías en el diseño para mejorar la gestión de la energía. El consumo energético actual y la limitación de los recursos existentes están impactando negativamente en la economía y la ecología. Mientras que la domótica gestiona elementos de control que contribuyen a ese ahorro.

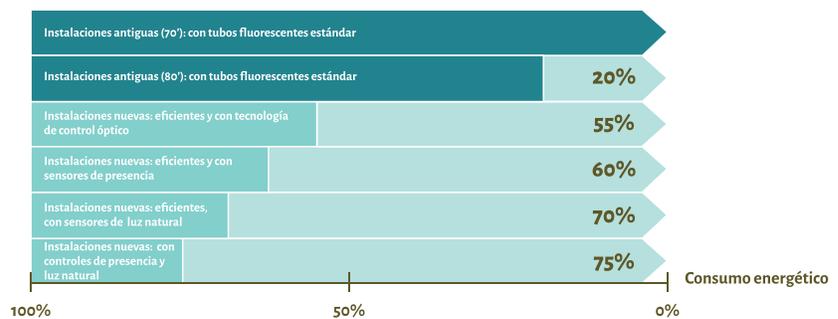
La domótica integra 6 ejes principales. En primer lugar el ahorro de energía; optimizando los recursos que utiliza. Segundo, la accesibilidad; otorgando soluciones a las necesidades con una buena relación de costo-beneficio. Por otra parte, es eficaz y entrega seguridad. Establece un canal de comunicación bidireccional (usuario/lugar), y por último, entrega confort; siendo un sistema sencillo, práctico y de fácil uso. (BTICINO, S/F.)

La domótica tiene un sinnúmero de soluciones y permite el control de una gran cantidad de variables. Apuntan a la iluminación, climatización, electrodomésticos, fugas, control de riego, reciclaje, sistemas de seguridad, etc. Y todo esto mediante parámetros como fijación de horarios, estaciones del año, accesos de luz natural, temperaturas exteriores e interiores, actividades a realizar, escenarios o ambientes a crear, entre otros. Todas estas variables se pueden controlar gracias a estas tecnologías, programándolas electrónicamente.

“Daylight-dependent lighting control can reduce energy consumption by as much as 35 percent. Combined with timers and presence sensors, economies of 55 percent or more are actually possible” (FÖRDERGEMEINSCHAFT GUTES LICHT, 2014, P. 19).

Con un sistema de regulación dependiente de la luz del día, el brillo en la sala es controlado por un

sensor. Cuando la incidencia de luz del día es alta, la iluminación artificial se baja para ahorrar energía. Los sistemas de control de presencia también son herramientas eficientes. Estos sistemas detectan la presencia de personas en la sala y desactivan automáticamente la iluminación apenas ésta se desocupa. Y así, además de garantizar una alta calidad de iluminación y aprovechar la luz del día, permite un ahorro importante de energía, llegando a ahorros de un 50% dependiendo del caso.



Sin embargo, se debe recordar que la reducción en el consumo de energía no debe ser a expensas de la calidad de iluminación. Una buena iluminación considera los efectos visuales, emocionales y biológicos de la iluminación en conjunto con sus ahorros energéticos.

Para la empresa ERCO, el confort visual eficiente tiene que ver con aumentar tanto la eficiencia energética como la calidad de la luz, por medio de conceptos técnicos y planificaciones innovadoras.

CONFORT VISUAL EFICIENTE = CALIDAD DE LUZ + USO RESPONSABLE DE RECURSOS + RENTABILIDAD.

Esta fórmula se traduce en:

un diseño de iluminación cualitativo: diseño meticuloso y orientado a la percepción, utilizando iluminación vertical y acentuadora, evitando el deslumbramiento.

Ejemplo del impacto de ahorro energético tras la renovación con luminarias de alta eficiencia y sistemas de gestión de iluminación. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, GOOD LIGHTING FOR A BETTER LEARNING ENVIRONMENTAL 2012, P. 19.

✔ **orientación vertical de la iluminación:** para la percepción subjetiva, la reducción de contrastes visuales, donde la iluminación LED permite un grado óptimo de precisión y uniformidad.

✔ **luminotecnia efectiva:** Los sistemas ópticos potentes y precisos reducen el consumo energético de la iluminación. Una completa caja de herramientas luminotécnicas ofrece la distribución luminosa óptima, y por consiguiente eficiente, para cada tarea de iluminación.

✔ **sistemas de control inteligente:** utilización de luminarias regulables y controlables mediante DALI. Esto posibilita una iluminación escénica sencilla y económica.

✔ **tecnologías LED eficientes:** Desarrollo de una empresa propia de tecnología LED, adquiriendo liderazgo en la iluminación arquitectónica gracias a la experiencia en todos los ámbitos de la optoelectrónica.

“The most important components of effective and efficient lighting installations are modern light sources and luminaires incorporating modern control gear and reflectors as well as lighting management systems for optimal daylight utilisation” (FÖRDERGEMEINSCHAFT GUTES LICHT, 2012, P. 24).

d. Manejo y gestión de la iluminación

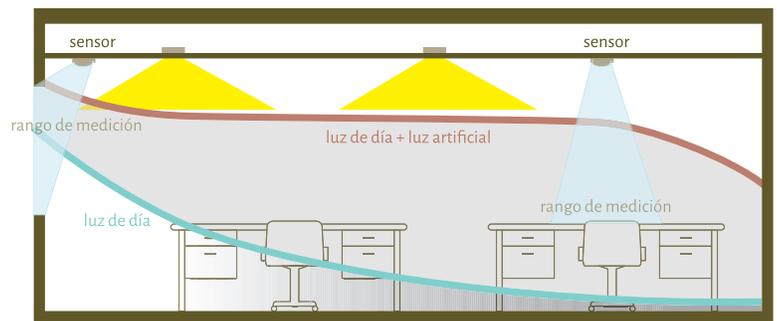
Con gestión de la iluminación se hace referencia a operar y manejar un sistema eficiente y económico, regulando y monitoreando para un rendimiento óptimo, de manera de obtener el mayor confort de iluminación posible. Todas estas funciones son útiles e importantes, en particular para las escuelas y otros establecimientos educativos.

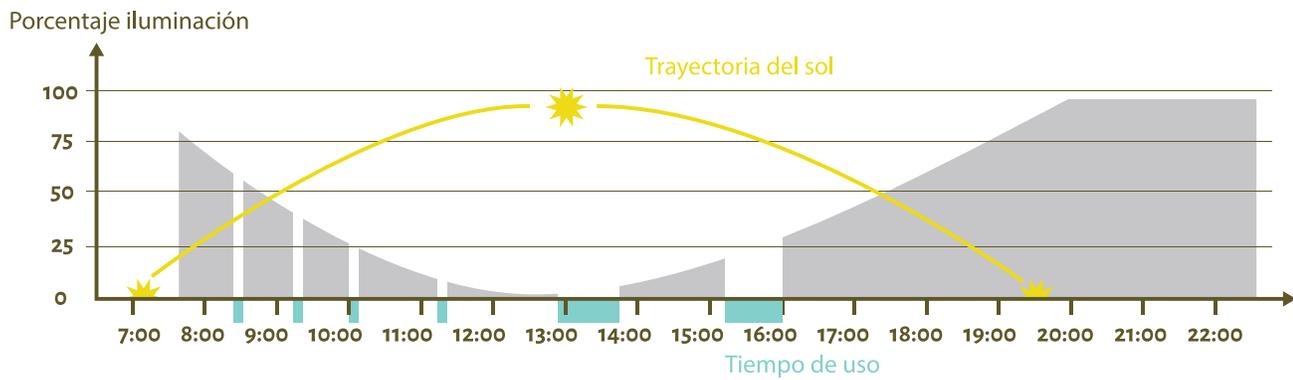
La eficacia de una instalación lumínica debe combinarse con la eficiencia del uso de ésta. Sólo la cantidad de luz necesaria para el desempeño de las tareas a realizar en un momento específico debe

estar disponible en ese momento, es decir, una iluminación dependiente de la demanda requerida, sin dejar de considerar la calidad de ésta. Y para lograr eso, se deben optimizar y aprovechar los recursos necesarios para obtener un manejo y control eficientes y tener una iluminación flexible y sustentable.

Un sistema de control eficiente para interiores debe aprovechar la luz del día mediante la disminución y apagado de la iluminación artificial en los momentos y lugares donde entra suficiente radiación lumínica solar. También debe ser capaz de generar ambientes o escenarios para las diferentes actividades que se realizan en el lugar (clases, trabajos manuales, conferencias, etc.). Además, el contar con detectores de movimiento y presencia hace mejor el manejo de la iluminación. Por ejemplo, los sistemas de detección mediante infrarrojo se pueden combinar con sistemas de control inteligentes para asegurar que la luz se apague si no hay nadie presente, como sucede en los recreos de los niños.

Diagrama que muestra el ingreso de luz natural y cómo los sensores detectan la insuficiencia en un determinado rango, para activar el encendido de la luz artificial. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, GOOD LIGHTING FOR A BETTER LEARNING ENVIRONMENTAL 2012, P. 24.





“Lighting management simulates the dynamic, energising changes that occur in natural daylight over the course of the day”. (FÖRDERGEMEINSCHAFT, GOOD LIGHTING FOR A BETTER LEARNING ENVIRONMENTAL, 2012, P. 24).

El gráfico muestra la necesidad de iluminación artificial inversamente proporcional a la luz del día. Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, GOOD LIGHTING FOR A BETTER LEARNING ENVIRONMENTAL 2012, P. 24.

e. Empresas con sistemas de manejo y control de la iluminación

En Chile, empresas como Bticino/Legrand y Home Control entregan soluciones de domótica a sus clientes, utilizando estas tecnologías de vanguardia. En otros países es un área que está siendo explotada enormemente, sobre todo gracias al uso de celulares inteligentes que cada vez son más asequibles para todos y permiten controlar con aplicaciones la iluminación y seguridad del hogar.

“Cada vez está siendo más preocupante para las empresas “ser verdes” y buscar certificaciones ecológicas y de eficiencia como ventaja competitiva y valor agregado hacia los clientes. Y la domótica que entregamos en Bticino se encarga de estar presente en todo el proceso de diseño, construcción y operación, para lograr los mejores estándares de sustentabilidad y eficiencia” (VERGARA, C., ENTREVISTA PERSONAL, 6 DE MAYO DE 2016).

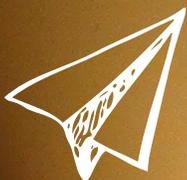
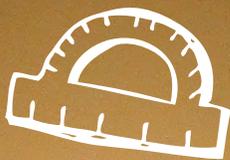
Gracias a estas tecnologías se puede lograr un control y ajuste casi infinito de la iluminación. En particular, Bticino tiene productos como tableros inteligentes que controlan la climatización, iluminación, incluso la música, creando “escenarios” preestablecidos y al alcance de un botón. Otras tecnologías que utiliza son los sensores de movimiento de manera que el consumo sea regulado según si está en uso o no un sector, al detectar movimiento o presencia (de ondas infrarrojas).

También existen otras empresas que han sido estudiadas para el propósito de este proyecto y que ofrecen productos y sistemas similares; como:

- ✔ Philips
- ✔ Zumtobel
- ✔ OSRAM
- ✔ USAI Lighting
- ✔ Luminex
- ✔ Fagerhult
- ✔ Riegens
- ✔ Delmatic
- ✔ Trilux
- ✔ Tridonic
- ✔ Leviton



$$x + y = z$$



FORMULACIÓN DEL PROYECTO

QUÉ  POR QUÉ  PARA QUÉ



QUÉ

Generar condiciones lumínicas óptimas para el aprendizaje en la sala de clases de acuerdo a las asignaturas, a través de un sistema de manejo y gestión de la iluminación que simule el ciclo de la luz natural, y una planificación horaria de las materias biológicamente ideal para los alumnos.

POR QUÉ

Porque la iluminación actual de los colegios afecta nuestro ciclo circadiano y predispone negativamente nuestro organismo para el aprendizaje. Además, no es indiferente para nuestro cuerpo el momento del día en que se desarrollan las distintas asignaturas.

PARA QUÉ

Para mejorar el entorno de aprendizaje de los niños en Chile y generar un ambiente óptimo para la salud y el rendimiento escolar.

OBJETIVO GENERAL

Establecer un escenario lumínico ideal para la enseñanza y el aprendizaje dentro de la sala de clases de acuerdo a las asignaturas y a los ritmos circadianos de los alumnos, para contribuir positivamente al rendimiento escolar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Crear una malla académica biológicamente óptima para la enseñanza de las asignaturas más relevantes del programa escolar.
 - ✔ Entrega de una malla tipo
2. Mejorar el rendimiento académico de los alumnos en un estimado de un 20%.
 - ✔ El % se basa en la amplia experiencia internacional
 - ✔ Evaluando destrezas relevantes para las asignaturas: velocidad de lectura, concentración, memoria y retención de contenidos, disminución de errores
 - ✔ Estimado utilizando tabla
3. Establecer una alianza con el Ministerio y otras entidades para la realización de un proyecto integral de mejora de las instalaciones lumínicas en colegios.
 - ✔ Entrega de documento para sentar las bases del proyecto de iluminación circadiana
4. Generar un ahorro energético de al menos un 40%.
 - ✔ El % se verifica en la simulación (p. 69-70)
5. Mejorar la iluminancia media en las salas de clases en un 30%.
 - ✔ Ajustarla sobre la norma
 - ✔ Obtener un mayor efecto biológico
 - ✔ El % se verifica en la simulación (p. 69-70)
6. Reducir las diferencias hormonales del ciclo circadiano de los alumnos.
 - ✔ Mediciones de niveles de melatonina
 - ✔ Test de saliva a las 10:00 am cada 2 meses

| PONDERACIÓN % | INDICADOR | MEDICIÓN | MEJORA OBJETIVA % (exp. internacional) | MEJORA REAL OBTENIDA % |
|---------------|------------------------|-----------------|--|------------------------|
| 40% | Concentración | Test D2 | 30 - 40% | |
| 25% | Memoria | AVLT / Weschler | 20 - 30% | |
| 25% | Disminución de errores | Test D2 | 20 - 30% | |
| 10% | Velocidad de lectura | Test VL | 35% | |

* La explicación de los test de medición y del uso de la tabla se realiza con mayor detalle en el Anexo 2.

CONTEXTO DE INTERVENCIÓN

Este proyecto está enfocado en primera instancia a los colegios de Chile que cuenten con niveles de educación básica. La propuesta de valor cobra mayor significancia en establecimientos que actualmente poseen un sistema de iluminación deficiente, inadecuado e ineficiente energéticamente; y como muestra la realidad en nuestro país, esto involucra a colegios de distintos estratos económicos (particulares, públicos y particulares subvencionados).

Según lo analizado en terreno, los colegios poseen tecnología y calidad de iluminación muy mala. Muchos de ellos tienen tubos fluorescentes muy desgastados, sucios, que pestañean y generan un zumbido molesto que desconcentra. Además, tienen artefactos antiguos que no cuentan con los estándares de eficiencia que sí tienen las luminarias modernas. De esta manera, el impacto que se busca lograr es mayor al intervenir establecimientos escolares que se encuentren bajo las normas de niveles de iluminación, que muchas veces es heterogénea dentro de la sala de clases. En este escenario, el reemplazo del sistema de iluminación por uno con luz adaptativa y dinámica que se ajuste al ciclo circadiano humano, generará mayores beneficios relativos. Los alumnos pasarán de una situación en que el aprendizaje se ve truncado por malas condiciones ambientales, a una que es biológica y psicológicamente óptima para aumentar su aprendizaje en etapa de desarrollo.

Por otro lado, la propuesta del ahorro energético es lógicamente mayor al reemplazar artefactos antiguos y de mala calidad. El ahorro económico que se obtiene hace más atractivo el proyecto en situaciones con peor escenario inicial.

Ahora bien, ¿por qué en el contexto escolar? En primer lugar, debido a que una sala de clases

es el lugar donde los alumnos reciben el conocimiento primerísimo y básico sobre ellos mismos, sobre su lugar y rol en el mundo y lo que ellos quieren entregar a éste. Aquí desarrollan sus principales habilidades y aprenden lo necesario para cumplir sus metas. Por ende, el entorno de aprendizaje debe ser el más adecuado posible, con la menor cantidad de distractores y el mejor confort ambiental y visual. Aquí la iluminación juega un rol importante y los colegios son los responsables de entregarle a sus alumnos y profesores las mejores condiciones.

“Schools, classrooms and other work environments where people spend time learning and working under simulated sunlight (full spectrum lighting and color) experience less stress and anxiety, improved behavior and attitudes, improved health and attendance, and increased performance and academic achievement” (GREEN PROFIT SOLUTIONS, INC., S.F).

Por otra parte, en el contexto escolar básico se puede tener una mayor capacidad de control, gracias a la asistencia regular de los alumnos en contraste con los de educación media o universitaria. También porque las salas están designadas por grandes períodos (todo el año) para un mismo curso y la mayoría de las asignaturas.

Una consideración importante a tener en cuenta es que cada recinto a lo largo del país tiene condiciones geográficas y climáticas diferentes, una administración y una metodología de enseñanza y aprendizaje propias, y usuarios de distintas edades y estratos socioeconómicos. Esto implica que la propuesta debe ser específica y pensada para cada colegio, y debe ser lo suficientemente flexible y adaptativa para lograr su propósito en espacios muy diferentes.

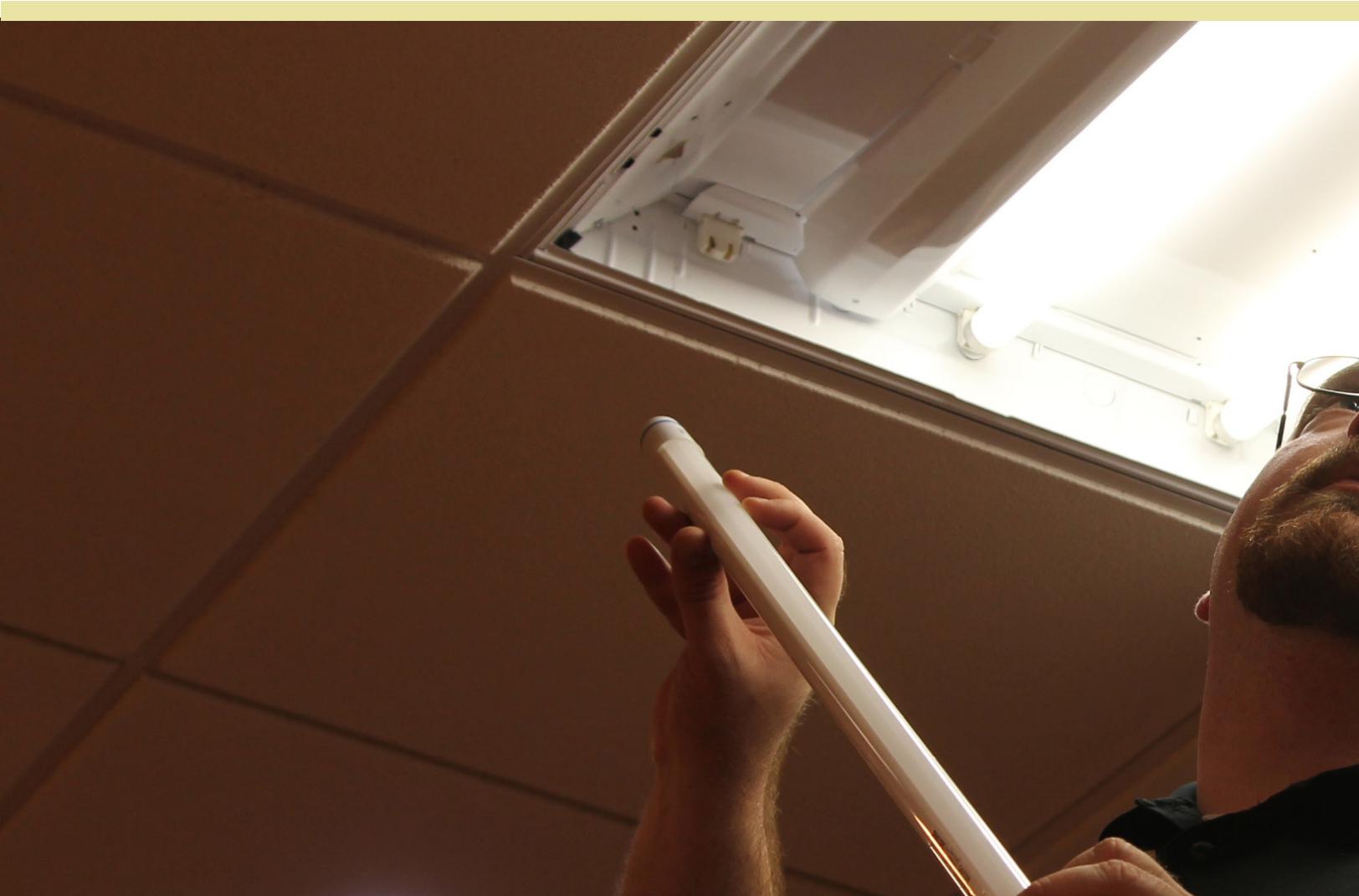
USUARIO

Existen dos grupos beneficiados con la incorporación de este sistema de iluminación dinámica en las salas de clases.

Por un lado los usuarios, es decir, los alumnos y profesores. Mediante un control sobre la intensidad y temperatura del color en la iluminación, los alumnos disminuirían los riesgos de exponerse a una iluminación no óptima. Su cuerpo estará en un mejor equilibrio y regulación hormonal de acuerdo al horario y ciclo natural para obtener los mayores beneficios a la hora de aprender. Además desde la perspectiva de los profesores, ellos contarán con los alumnos en su mejor disposición biológica para instruirse y prestar atención a la clase. Y por supuesto que ellos a la vez percibirán los beneficios de estar en un ambiente iluminado de la manera más similar posible a la luz natural.

El segundo grupo beneficiado son los clientes: los colegios. Éstos verán de forma inmediata y tangible la disminución en gastos de electricidad. Tendrán un gran porcentaje de ahorro y mantendrán, o incluso mejorarán, la calidad de la iluminación respecto a su sistema actual. Y también, al obtener mejores resultados en el rendimiento de sus alumnos, los estándares de calidad y formación del colegio se elevarán, y serán mejor representados en los rankings oficiales.





PROYECTOS Y EMPRESAS

ANTECEDENTES  REFERENTES



Anteriormente se nombraron diferentes casos de empresas y centros de investigación que han realizado proyectos de iluminación dinámica en colegios alrededor del mundo; como Philips, OSRAM, Universidad de Lund, entre otros. Dichas investigaciones han sido antecedentes claves para la realización de este proyecto, tanto por los productos utilizados como por los resultados obtenidos respecto al rendimiento académico en escolares. Son la práctica de las teorías científicas y han demostrado la importante relación que existe entre el reloj biológico del ser humano y el ciclo de luz natural de nuestro planeta.

En esta sección se muestra un mapeo más amplio de empresas que han utilizado sus tecnologías y sistemas de manejo de iluminación circadiana y ahorro energético en diferentes situaciones, y que serían posibles proveedores para el desarrollo de éste proyecto.

Iluminación dinámica circadiana

La iluminación dinámica artificial se compone de luminarias blancas sintonizables y controladas mediante sistemas inteligentes para generar los cambios necesarios. Las nuevas tecnologías LED hacen posible la imitación de la luz del sol durante el día y crean las mejores condiciones posibles para las personas en ambientes interiores.

✔ Luminex

Son líderes en manufactura y distribución de iluminación dinámica circadiana full LED en Dinamarca. Ofrecen instalaciones de iluminación controlada LED RGBWW (w2700K and White 6500K). Ejecutan las luminarias con sus propios controles + fuentes de alimentación separadas para DMX, DALI, 1-10V y KNX.

✔ Fagerhult

Empresa sueca que busca la personalización de la iluminación mediante tecnologías modernas que

permiten controlar el color de la luz para energizar y activar a las personas o para calmarlas y relajar el cuerpo, y de esta manera, mejorar el bienestar subjetivo y objetivo a través de la luz. "Light can be adapted to our own needs or to match our circadian rhythm". La aplicación E-SENSE TUNE, conectada al sistema de iluminación, permite a los usuarios crear escenarios distintos para las actividades que realicen en determinado recinto. El modo "Activate" entrega una luz intensa, fría y que energiza, enfocada a las horas de la mañana y después de almuerzo. El modo "Comfort" proporciona una iluminación más cálida y suave, que estimula la comunicación y reflexión. El escenario "Adapt" entrega una luz que se adapta a la presencia y a la luz natural, seleccionando una temperatura de color de 3.000 a 4.000 °K dependiendo de lo que se prefiera. Finalmente, el modo "Mimic" imita la luz del día y cambia la intensidad y la temperatura del color durante todo el día. La luz en la mañana tiene una baja intensidad y un color de temperatura caliente. Durante la mañana, ambos parámetros van cambiando hasta llegar al mediodía con una luz intensa y fría. Ya en la tarde la intensidad disminuye y la temperatura del color se hace más cálida. ([HTTP://WWW.FAGERHULT.COM/LIGHTING-CONTROL/E-SENSE/E-SENSE-TUNE/](http://www.fagerhult.com/lighting-control/e-sense/e-sense-tune/))

✔ Philips

Esta empresa holandesa tiene diversos equipos y sistemas manejados en base al principio de luz dinámica circadiana. HUE WHITE AMBIANCE es un sistema para el hogar que permite aumentar el brillo de la luz o atenuarlo suavemente, ofreciendo el nivel de iluminación y la tonalidad adecuada. Se controla mediante un dispositivo inteligente gracias a una aplicación, sumamente amigable, o bien a través del mando regulador. El *starter kit* incluye dos focos A19 PHILIPS HUE WHITE AMBIANCE (800 lúmenes, 2.700-6.500 °K), un puente compatible *Apple HomeKit* (y otras plataformas) y también un interruptor regulador de intensidad Philips Hue. ([HTTP://ORIGIN.WWW2.MEETHUE.COM/EN-GB/](http://origin.www2.meethue.com/en-gb/))

✓ *USAI Lighting*

Es importante mencionar también la línea COLOR SELECT de esta empresa americana, que actualmente posee una amplia gama de temperaturas ajustables de color de la luz, desde una luz similar a la de una vela 2.200 a 6.000 °K con apariencia a la luz día. Mediante el ajuste independiente de los niveles de luz y temperaturas de color, el rango dinámico completo de la luz natural se puede recrear en un espacio interior. Toda la línea de productos ha sido diseñada para ser compatible con los controles de iluminación arquitectónica estándar del mercado, lo que significa que el usuario final puede aprovechar la funcionalidad de Color Select independientemente de los controles que elija. “Nonvisual effects are what we want and need from our lighting today, and this can be done easily and simply with Color Select.” ([HTTP://WWW.USAILIGHTING.COM/CIRCADIAN-RHYTHM-LIGHTING](http://www.usailighting.com/circadian-rhythm-lighting))

✓ *Riegens*

Los productos DILED TUNEABLE WHITE desarrollados por esta empresa danesa son luminarias de alto rendimiento, diseñadas para ofrecer un control óptimo de la luz blanca en la escala de temperatura de color de 2.700 a 6.500 °K, y entregar las mejores condiciones visuales para los usuarios. Pueden ser controladas mediante DALI o DMX, son de bajo consumo de energía, fáciles de instalar y entregan todos los beneficios de la tecnología LED.

✓ En Holanda, se realizaron 3 estudios variando las condiciones de medición (tipo de iluminación aplicada, horario del día, estación del año, salas del mismo y de distinto colegio, etc.) para comparar los distintos resultados y comprobar si era efectiva toda la investigación de base científica que existe con respecto a la relación de los ciclos circadianos y la iluminación. Efectivamente los resultados obtenidos reafirman las teorías y se llega a la conclusión de que la iluminación dinámica con 1.000 lux / 6.500 °K aumenta la concentración en

los alumnos en un mayor porcentaje que la iluminación de 500 lux / 4.500 °K (según los resultados del test de medición D2). Además, los alumnos en salas con iluminación normal cometieron más errores que los alumnos con iluminación experimental. Otra de las conclusiones obtenidas fue que alumnos mayores se ven menos afectados con los cambios de iluminación que los alumnos más pequeños, donde el rango de mejora fue más amplio. Una posible explicación a este resultado es que los alumnos mayores están más entrenados para adaptarse y encontrar un modo de concentrarse sin importar las condiciones, a diferencia de los niños menores. En adición, se concluyó que la iluminación dinámica aplicada tuvo efectos positivos tanto físicos y psicológicos, como en el desarrollo de los niños. Mejoró la salud dental, disminuyendo caries y otras enfermedades dentales, y el crecimiento físico de los niños también se vio afectado en una forma positiva (SLEEGERS, 2012).

✓ Otro referente interesante es el sistema de iluminación interna del avión BOEING 787 DREAMLINER. Éste, además de una gran cantidad de innovaciones y tecnologías de punta, cuenta con un programa de iluminación dinámica en base a LEDs llamado *Sky Interiors* y que se ajusta conforme el vuelo se cruza con un meridiano o cuando se hace de día o noche. Es decir, se utiliza para aclimatar gradualmente a las personas a las diferentes zonas horarias y hacer un cambio menos abrupto en los viajes, de manera de no desequilibrar el ciclo circadiano de los pasajeros.

Ahorro energético en iluminación

✓ *Legrand*

Las soluciones de la empresa francesa Legrand ofrecen el cumplimiento técnico de los requisitos de eficiencia energética para un edificio, permitiendo ahorros significativos de energía y recortes en los costes de funcionamiento. Las nuevas

Hubo un 30% menos errores en alumnos de la sala experimental que en los de la sala control. Si bien, ambos grupos aumentaron su concentración en el test final respecto al inicial, el aumento fue mayor en los niños de la sala experimental.

soluciones de gestión de iluminación hacen una valiosa contribución a iniciativas de construcción ecológica como BREEAM, LEED, HQE y GREEN STAR. Además, los sistemas de gestión eficiente de iluminación que ofrecen garantizan que haya la cantidad adecuada de luz cuando y donde se necesite. Esta empresa ofrece tecnología domótica y propone servicios relacionados para garantizar que su proyecto de gestión ahorre energía y ayude al medio ambiente. ([HTTP://WWW.LEGRAND.COM/EN/LIGHTING-MANAGEMENT_12606.HTML](http://www.legrand.com/en/lighting-management_12606.html))

Un estudio realizado por la Universidad de Lund en Helsingborg (Suecia) durante 6 meses en alumnos de entre 17 y 18 años, también demuestra cifras de ahorro energético con estas implementaciones. El consumo energético en la sala con iluminación LED fue de un 13% menor, aún cuando el brillo o intensidad percibida ambientalmente fue de un 34% mayor (FAGERHULT, 2013).

El 2012, el Laboratorio de Arquitectura de la Pontificia Universidad Católica de Chile realizó una auditoría energética y de condiciones de confort en establecimientos educacionales en tres zonas de Chile; norte, centro y sur. El objetivo del estudio era realizar un análisis de las condiciones lumínicas de diferentes aulas de colegios para hacer recomendaciones que mejoraran el desempeño ambiental y las condiciones de habitabilidad existentes en dichos establecimientos. Se trataron temas como la envolvente y sus posibles mejoras, la ventilación y las condiciones de iluminación. El diseño de la iluminación tuvo por objetivo cumplir una serie de parámetros lumínicos que permitieran tener en cada espacio una iluminación en cantidad suficiente y cualitativamente comfortable. Se aplicaron criterios de diseño privilegiando el uso de fuentes de luz eficaces de bajo consumo energético y larga vida útil. Para las tres zonas analizadas se realizaron tres simulaciones para corroborar las recomendaciones realizadas. En primer lugar, se simuló el caso actual para determinar los niveles

de iluminancia de las salas. La segunda simulación consistía en el cambio de las lámparas fluorescentes existentes por unas más eficientes y en algunos casos, se recomendó cambiar la orientación de éstas según la disposición del mobiliario en el interior de las salas. Por último, la tercera simulación consistía en un nuevo diseño de iluminación, donde se reemplazaban todos los equipos lumínicos y se realizaba un rediseño completo del espacio, obteniendo un 23% de ahorro aproximado en el consumo energético.

En Chile, en el área de la educación, existen actualmente dos colegios que destacan por ser los primeros en implementar sistemas de eficiencia y ahorro energético.

El primer caso es el Colegio Alemán de Puerto Varas. Además de entregar a sus alumnos, desde pequeños, una educación respecto a la sustentabilidad, energías renovables y cuidado del medio ambiente, instalaron sistemas eficientes para su propio funcionamiento. Dentro de estas nuevas instalaciones pusieron dos aerogeneradores que captan las corrientes de viento y generan energía, un laboratorio de control con baterías de acumulación para momentos sin viento, medidores de producción de energía, paneles solares fotovoltaicos con orientación esclava al recorrido del sol, y un sistema geotérmico para producir calefacción ambiente y temperar la piscina semiolímpica. Tan sólo el sistema de calefacción le permitió al colegio descender la cifra de gasto mensual de 4 millones a 600 mil pesos.

“La intervención a la malla de asignaturas del colegio y la implantación de estos sistemas energéticos sustentables, se realizaron con el fin de que los estudiantes puedan conocer las virtudes y efectividad de estas tecnologías amigables con el medio ambiente, lo que se transforma en el primer acerca-

miento a la construcción de una cultura de eficiencia energética en el sur de Chile, ya que los niños comparten estos conocimientos adquiridos de forma entretenida con sus padres, y estos últimos, con su círculo más cercano” (VEO VERDE, 2011).

✔ Otro caso en nuestro país es el Colegio Suizo de Santiago (2016), en Ñuñoa, que incorporó 150 m² de paneles solares en sus instalaciones y que incluso vende su excedente de energía limpia a la red de distribución local. Según el sistema *Net Billing* que rige desde fines del año 2014, se permite a edificios que cuentan con fuentes de energía, venderla al sistema de distribución. De esta manera, aumentan el uso de energía limpia y por ende disminuyen las emisiones de CO₂. Además, optimizaron el sistema de iluminación, donde en 6 meses lograron cambiar el 99% de las ampollas fluorescentes e incandescentes a LED. Se hicieron mediciones del antes y del después, comprobando que esta nueva iluminación era más eficiente y mantenía los niveles de iluminancia de los recintos, e incluso aumentaba en varios.

Manejo y gestión de la iluminación

✔ Trilux

La aplicación de manejo y gestión de iluminación *LIVELINK CONTROL* de Trilux permite adaptar la luz de forma rápida y sencilla a los requisitos personales o circunstanciales. A través de la interfaz de usuario intuitiva, los usuarios regulan, mediante smartphone o tablet, por ejemplo la iluminación para una presentación al nivel deseado. E igual de fácil pueden ejecutarse los escenarios de luz previamente guardados según las necesidades. *LiveLink* requiere un cableado DALI convencional: los componentes (luminarias, sensores y pulsadores) se conectan a través de DALI al dispositivo de mando. Además, el dispositivo de mando y las luminarias requieren una conexión a red estándar.

✔ Lighten

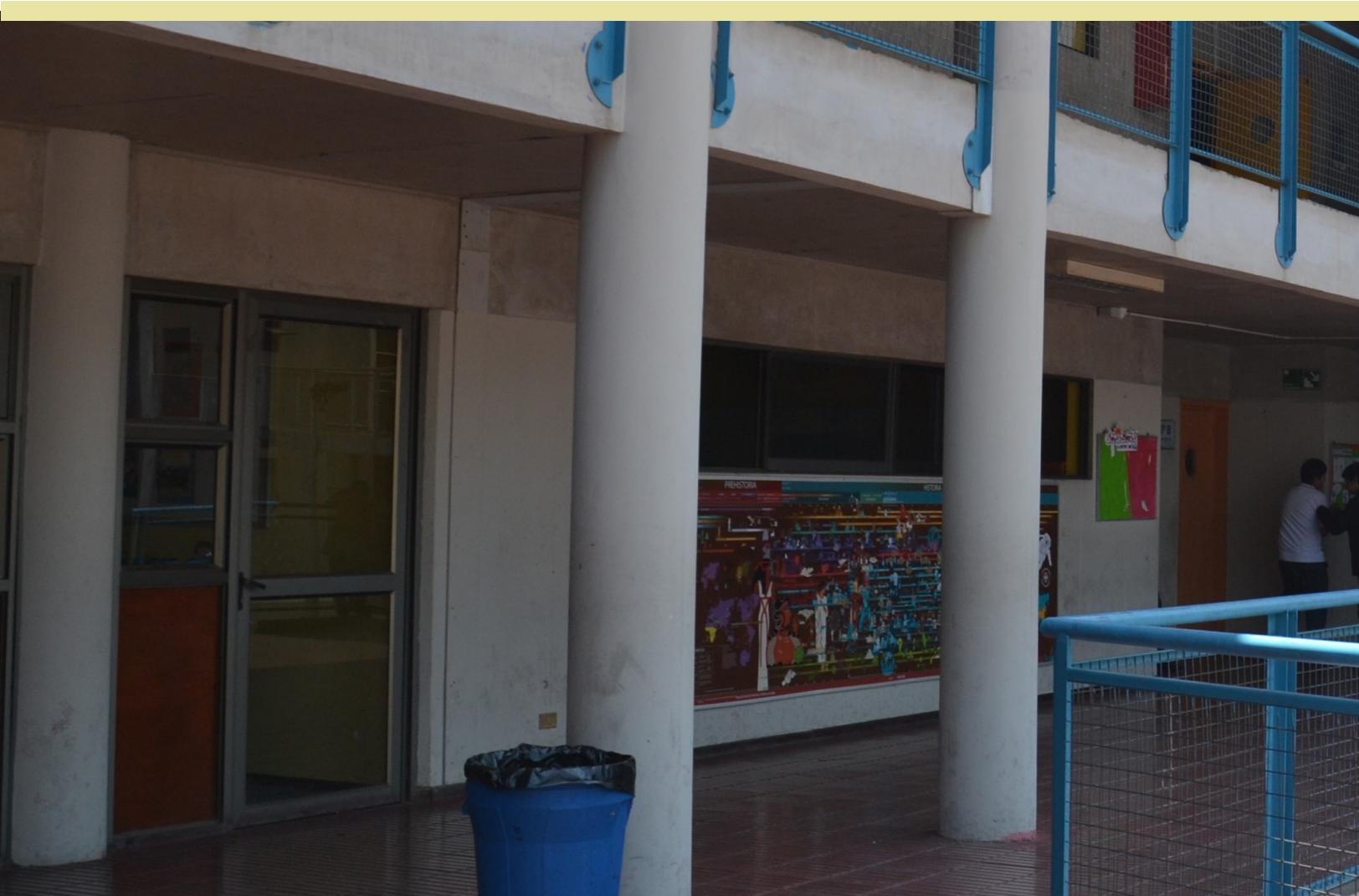
La aplicación *PILCS* permite a los usuarios manejar la iluminación de sus hogares de manera personalizada, automática y adaptativa. Acorde a un perfil biológico del usuario; que incluye edad, género, cronotipo, etc., se logra personalizar y optimizar la iluminación según las necesidades de cada uno. ([HTTP://WWW.LIGHTEN.DK/](http://www.lighten.dk/))

✔ OSRAM

OT EASY 80 es un dispositivo de control para el sistema de gestión *EASY COLOR CONTROL LIGHT* de la misma empresa. Este dispositivo está diseñado para la iluminación dinámica de diferentes escenarios lumínicos, posible mediante tecnología LED, y compatible con su línea de productos *LINEARLIGHT COLORMIX*.

✔ Zumtobel

Es una empresa austríaca con más de 60 años de experiencia, guiada por el objetivo de concebir la mejor luz para el ser humano y el medio ambiente. Han diseñado una amplia gama de productos pensados para cada ambiente y área en particular según las necesidades requeridas. Los sistemas de manejo y control que ofrecen permiten la incorporación de sensores de luz natural, detectores de presencia, persianas controladas, entre otros, para lograr un sistema completo e inteligente. La línea de productos *MIREL* ofrece luminarias con tecnología Led, con vida útil de 50 mil horas y una reducción del flujo luminoso en menos del 25% del valor inicial, limitación del deslumbramiento en la norma, rendimientos de 112 lm/w, temperaturas de color variables (blancos fríos, neutros y cálidos), entre otras cualidades.



DESARROLLO DEL PROYECTO

PROPUESTAS  SIMULACIÓN



El desarrollo del proyecto considera diversos aspectos claves; tales como los parámetros climáticos, los parámetros lumínicos, los parámetros académicos, entre otros, para determinar dos propuestas de sistemas dinámicos de iluminación acordes a la iluminación solar, y un horario de clases sugerido, en concordancia con la misma iluminación y a los cambios biológicos que se producen en el cuerpo humano en un día normal.

a. Aspectos clave

a.1. Parámetros climáticos

Un factor clave en el diseño de la iluminación es considerar el clima y la zona geográfica del establecimiento. Para un buen diseño, lo importante es beneficiarse al máximo de la iluminación natural y diseñar en base a la cantidad de ésta que podemos aprovechar en las diferentes estaciones del año. Es por esto que el dinamismo y flexibilidad que nos pueda permitir el sistema son relevantes para obtener los mayores beneficios.

El clima de una zona está directamente relacionado con las variables atmosféricas y las fluctuaciones del ciclo diurno/nocturno y del ciclo estacional. Por ende, la trayectoria del sol es el factor común y elemento clave para esto. Y es necesario considerarla tanto para la construcción de un establecimiento nuevo donde se determinen la orientación de las salas, la cantidad y tamaño de ventanas y puertas para el ingreso de luz natural, como para la remodelación de la iluminación artificial en una sala ya establecida.

Para esto, existen las llamadas cartas solares que nos permiten analizar la trayectoria del sol en cierto lugar y fecha determinada.

a.2. Parámetros lumínicos a considerar

En complemento al esquema presentado en el capítulo 3 sobre la óptima iluminación, que considera parámetros de confort visual, ambiente visual y rendimiento visual, los parámetros lumínicos que son necesarios controlar para tener una iluminación biológicamente efectiva serían:

- ✓ iluminancia
- ✓ dirección de la luz
- ✓ temperatura de color
- ✓ dinamismo de la luz a lo largo del día y de las estaciones del año

Una mayor iluminancia permite lograr un impacto biológico en el cuerpo que simula la luz del día, coordinando las funciones corporales y la liberación de hormonas que activan el cerebro y el cuerpo.

El efecto biológico es mayor cuando la luz viene de una fuente con superficie amplia, y en un ángulo entre 45 y 90°. Esto está directamente relacionado con la distribución de los fotorreceptores en el ojo. Los receptores fotosensibles de la retina reaccionan más positivamente a la luz con tonos azules y ayudan al control hormonal. La luz azulada durante el día incide en la producción de serotonina y mejora el estado de alerta.

La temperatura de color de una fuente de luz artificial debe imitar lo mejor posible la de la luz del día, esto implica tener el espectro lo más completo posible y poder incidir en el cuerpo en diversas situaciones y horas del día. Así, la temperatura de color y la iluminancia deben cambiar dinámicamente a lo largo del día y de las estaciones del año.

“Lighting solutions including dynamic changes of artificial lighting adapted to the course of the day, have more positive effects upon the motivation and performance of people than static lighting solutions” (FLEISCHER, LIGHT FOR EDUCATION AND SCIENCE, ETH ZURICH, P. 54).

Para lograr una imitación similar a la iluminación dada por el sol, es necesario que la variación de color e intensidad sea gradual, controlada de manera armoniosa para que el cambio sea imperceptible y no interfiera en las tareas y la concentración de los usuarios.

Por otro lado, la planificación de la iluminación además de incluir los requerimientos fotométricos y ergonómicos, debe considerar las normas exigidas por cada país y las tareas a realizar en cada espacio. ¿Qué actividades y tareas visuales se desarrollan en cada sala? ¿Cuáles son las necesidades de los profesores y alumnos para cada asignatura? ¿Qué elementos de la infraestructura y del mobiliario necesitan ser considerados? De esta manera, se controlarán mayores factores que inciden en el aprendizaje.

a.3. Habilidades necesarias para cada conjunto de asignaturas

En el colegio se aprenden diversas materias centradas en desarrollar y estimular ciertas habilidades en los estudiantes. Las asignaturas específicas varían según cada establecimiento pero mayormente se clasifican en 4 grupos.

- a) Humanistas e idiomas
- b) Matemático-científicas
- c) Expresión artística
- d) Educación física

a) **Asignaturas humanistas:** En esta categoría caben los ramos tales como Ciencias Sociales, Historia y Geografía, Lenguaje y Comunicación,

Idiomas, Orientación, Religión, Filosofía, entre otras. Este grupo se caracteriza por desarrollar la comprensión lectora y la comunicación oral. Busca que los alumnos desarrollen el pensamiento crítico, temporal y espacial, la capacidad de análisis, y la exposición. Que sean capaces de buscar patrones, establecer deducciones y estrategias de resolución.

b) **Asignaturas matemático-científicas:** Este grupo integra materias como Ciencias Naturales, Química, Física, Biología, Matemáticas, etc. Las habilidades que buscan estas asignaturas son el razonamiento, análisis, clasificación y comparación, pensamiento lógico, resolución de problemas. Está enfocado en que los alumnos aprendan a evaluar, experimentar, modelar, conocer y comprender las ciencias y se despierte su interés por estas materias.

c) **Asignaturas de expresión artística:** Los ramos que componen este grupo son las Artes Visuales y Prácticas, Tecnología, Música, Manualidades, entre otras. El objetivo es que los niños desarrollen su imaginación y creatividad. Están enfocadas en la expresión del interior y en el “hacer”.

d) **Asignaturas de educación física:** Todos los deportes y actividad física en general se incluyen en este grupo, donde el objetivo es desarrollar habilidades motrices, trabajo en equipo y mejorar la salud de los alumnos. (MINEDUC, CURRÍCULO EN LÍNEA)

b. Propuesta malla curricular optimizada

Si se toman en consideración los aspectos antes mencionados, en combinación con los antecedentes de capítulos anteriores sobre efectos biológicos de la luz en el cuerpo, se pueden proponer cambios a la malla curricular de los colegios con el fin de optimizar el aprendizaje. Esto se justifica porque existen momentos más adecuados que otros para determinadas asignaturas, debido a las habilidades que éstas requieren y cómo el cuerpo funciona o reacciona a distintas horas del día.

Al ajustar la iluminación en las salas de clases, los alumnos pueden aumentar su concentración y por ende, mejorar su desempeño académico. Naturalmente hay niños que llegan más somnolientos que otros en la mañana. Y la luz que se requiere para activarlos y suprimir la secreción de melatonina, genera un ambiente propicio para que ellos aprendan y desarrollen habilidades cognitivas. Así como también, al final de la jornada escolar, donde el cuerpo se siente más cansado y pasivo, la iluminación adecuada puede beneficiar el desarrollo de otras destrezas.

Además, cabe recordar la diferencia entre los cronotipos de personas y su variabilidad según las edades. Se busca minimizar estas diferencias al establecer un horario óptimo bajo condiciones lumínicas que ayuden a regularizar el ciclo circadiano de cada alumno y la sala de clases entera se encuentre en sintonía.

“Based on all the results, lighting has a very powerful and essential role on student’s learning performance in learning places. According to all evidence, lighting and the way of applying it in learning places depend on the subject of study. Also students feel and act well in a place with a good lighting quality. And the best lighting quality comes from the combination of daylight or natural light and artificial light” (Samani, 2012, p.134).

Según lo analizado en terreno, los colegios asignan sus propios horarios de acuerdo a la disponibilidad de profesores, a la cantidad de cursos por nivel y horas de asignatura a la semana. Estos horarios, no tienen ningún concepto asociado al momento óptimo de enseñanza y aprendizaje o a las condiciones lumínicas en determinados momentos del día.

Las siguientes imágenes son una recopilación de diferentes mallas anuales de cursos entre 5° y 7° básico de colegios de Santiago. Claramente no existe un patrón ni un modo de organización similar. Cada colegio determina sus asignaturas en el horario que es más adecuado para sus características. Pero dada la evidencia científica, es clave que las condiciones lumínicas en determinado momento sean las adecuadas para la actividad que se realiza y las habilidades que se requieren en cada una.

Fuente: RECOPIACIÓN DE VISITAS EN TERRENO, 2016.

| HORARIO 2016 | | | | | |
|--------------|----------|------------|-----------|-------------|-------------|
| HORAS | LUNES | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES |
| 1º | Mate | Música | Inglés | Matemática | C. de comu. |
| 2º | Mate | Música | Inglés | Matemática | C. de est. |
| 3º | Lenguaje | Inglés | Ciencias | Lenguaje | Inglés |
| 4º | Lenguaje | Matemática | Ciencias | Orientación | Ed. Física |
| 5º | Ciencias | Deporte | Mate | Arte | Ed. Física |
| 6º | Ciencias | Deporte | Mate | Arte | Inglés |
| 7º | Historia | Tutoría | Lenguaje | Inglés | Historia |
| 8º | Historia | | Lenguaje | Inglés | Historia |
| 9º | Inglés | | Religión | Tecnología | Matemática |
| 10 | Inglés | | Religión | Tecnología | |

| Lunes | MARTES | MIÉRCOLES | Jueves | Viernes |
|-------------|------------|------------|------------|----------|
| MAT | Historia | leng | PBS | MAT |
| MAT | Historia | tecnología | Ed. Física | MAT |
| Orientación | inglés | MUSICA | Ed. Física | Callab |
| B | e | C | e | S |
| Ed. Física | inglés | inglés | Callab | leng |
| Ed. Física | Ed. Física | inglés | MAT | leng |
| inglés | Ed. Física | Historia | MAT | Historia |
| L | V | N | C | H |
| inglés | arte | Callab | leng | inglés |
| leng | arte | Callab | leng | inglés |
| leng | | MAT | | |

| HORARIO 5º B | | | | | |
|--------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|------------|
| H. | Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes |
| 8:15 | LENGUAJE | MATEMÁTICA | RELIGIÓN | MÚSICA | MATEMÁTICA |
| 9:00 | LENGUAJE | MATEMÁTICA | RELIGIÓN | MÚSICA | MATEMÁTICA |
| 10:00 | CIENCIAS | LENGUAJE | CIENCIAS | JEC. HABILIDADES | HISTORIA |
| 10:45 | CIENCIAS | LENGUAJE | CIENCIAS | TECNOLOGÍA | HISTORIA |
| 11:45 | JEC. COMPUTACIÓN | HISTORIA | JEC. HABILIDADES | MATEMÁTICA | LENGUAJE |
| 12:30 | ORIENTACIÓN | HISTORIA | JEC. DEPORTES | MATEMÁTICA | LENGUAJE |
| 13:15 | RECREO/COLACIÓN | RECREO/COLACIÓN | JEC. DEPORTES | RECREO/COLACIÓN | JEC. CRA. |
| 14:00 | JEC. HABILIDADES | ARTES V. | | INGLES | |
| 14:45 | Ed. Física | ARTES V. | | INGLES | |
| 15:30 | Ed. Física | | | INGLES | |

| HOURS | MONDAY | TUESDAY | WEDNESDAY | THURSDAY | FRIDAY |
|-------------|----------|-------------|------------|-------------|------------|
| 8:10 | Orien | Leng | Leng | MAT | Leng |
| 8:55 | leng | F. Católica | leng | mat | ED. Física |
| 9:40 | Leng | mat | JEC | inglés | ED. Física |
| 10:25 | RECREO | mat | recreo | RECREO | recreo |
| 10:50 | inglés | inglés | inglés | F. Católica | inglés |
| 11:35 | inglés | C.H | inglés | F. Católica | inglés |
| 12:20 | almuerzo | MUSICA | HIST | Leng | mat |
| 13:05 | mat | ARTE | HIST | leng | mat |
| 13:50 | mat | arte | ED. Física | mat | musica |
| 14:35 | C.H | | ED. Física | | |
| 14:45 | | | | | |
| 3:30 - 4:15 | HORARIO | | | | |

| Lunes | Martes | Miércoles | Jueves | Viernes |
|-------------|----------|-----------|----------|----------|
| Orientación | Química | matemati | matemati | arte |
| Inglés | Química | matemati | lenguaje | Arte |
| Inglés | matemati | lenguaje | lenguaje | ingles |
| RECREO | Recreo | Recreo | Recreo | Recreo |
| Lenguaje | matemati | lenguaje | musica | ingles |
| Religion | lenguaje | Gimnasia | historia | biología |
| Religion | lenguaje | Gimnasia | historia | biología |
| almuerzo | almuerzo | almuerzo | almuerzo | almuerzo |
| Tecnología | historia | ingles | ingles | matemati |
| Gimnasia | historia | ingles | ingles | matemati |
| Gimnasia | historia | ingles | ingles | matemati |

| LUNES | MARTES | Miércoles | JUEVES | VIERNES |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Química | Lenguaje | Historia | Matemática | Arte |
| Química | Lenguaje | Historia | Matemática | Arte |
| Inglés | Arte | Gimnasia | Inglés | Lenguaje |
| Inglés | Arte | Gimnasia | Inglés | Lenguaje |
| Historia | Biología | Religión | Lenguaje | Inglés |
| Historia | Biología | Religión | Lenguaje | Inglés |
| Matemática | Matemática | Matemática | Matemática | Matemática |
| Matemática | Inglés | Música | Gimnasia | Biología |
| Tecnología | | Biología | Orientación | |

En el marco teórico se explicó la relación del cuerpo y sus funciones con la incidencia lumínica del sol a determinadas horas. Recordemos entonces que existen determinados momentos del día en que ocurren procesos biológicos específicos en nuestro cuerpo; como la secreción de hormonas, variación de temperatura corporal, presión arterial, niveles de atención, coordinación y alerta, que nos predisponen de distinta manera para llevar a cabo las actividades que debemos realizar. Así por ejemplo, está comprobado científicamente que los mayores niveles de alerta y concentración se logran alrededor de las 10 y 12 horas, o también, la mejor coordinación del sistema motriz es alrededor de las 14 horas. Claramente esto se cumple en el caso en que la influencia de la luz sea lo más parecida a un día solar normal.

Para lograr que la relación de hora y efecto biológico de luz sea la ideal, se propone un diseño lumínico de la sala con una determinada temperatura de color e iluminancia. Cada combinación de grados Kelvin y lux se basa en los referentes analizados (tomando como principal el proyecto *School Vision* de Philips) y en las características de la luz natural a lo largo de un día solar base, donde cada temperatura de color propuesta está asociada a la apariencia de color que percibimos en el transcurso de las horas al exterior. Por ejemplo, cerca del medio día es donde el sol se encuentra en su punto más alto (cénit o culminación de su trayectoria), las sombras que proyecta son mínimas, y su temperatura de color varía entre un rango de 6.000 a 9.000 °K para un cielo azulado despejado. De esta manera se busca emular las condiciones exteriores esperables según la hora que nos encontremos al interior de la sala de clases.

Por otro lado, tenemos distintas asignaturas escolares que componen el programa educacional de cada colegio, que a grandes rasgos se pueden agrupar en las cuatro categorías siguientes: humanistas, matemático-científicas, expresión artísticas y educación física, las cuáles fueron detalladas anteriormente.

Para cada uno de estos grupos existen distintos tipos de habilidades y destrezas necesarias para lograr un buen rendimiento, las cuales se corresponden directamente con diferentes partes de nuestro cerebro y sistema endocrino. Es decir, nuestro cuerpo funciona internamente de diversas maneras según las actividades que realizamos, y también, las actividades que realizamos dependen de cómo funciona nuestro organismo.

b.1. Formulación malla curricular

Diversos estudios científicos analizados permiten establecer como propuesta de solución una malla escolar adecuada y óptima para los alumnos. Esto según las funciones corporales que suceden más eficientemente a determinadas horas del día de acuerdo al tipo de luz que recibe el cuerpo, y de esta manera mejorar el rendimiento de los alumnos.

Esta propuesta de programa escolar interconecta las horas del día con el ciclo circadiano y los estados biológicos del cuerpo en base a una determinada iluminación (temperatura de color, iluminancia, porcentaje de luz natural y artificial, etc.). Todos estos inputs se combinan para establecer un rango horario específico para cada asignatura, de manera que el proceso de enseñanza y aprendizaje sea en el mejor momento para los alumnos, dada las habilidades necesarias en cada materia, y que se asocien directamente con su ciclo circadiano.

Se seguirá un orden cronológico para la formulación de la propuesta.

Durante las primeras horas de la mañana cuando los alumnos comienzan su jornada escolar, y a medida que los niveles de iluminancia aumentan, también lo hace la serotonina en nuestro cuerpo, alcanzando su peak durante el primer módulo de clases. Este neurotransmisor activa nuestro cerebro, aumentan los niveles de alerta y nos energiza mentalmente. Por otro lado, el aumento del cortisol y la testosterona durante la mañana, provocan

el alza de los niveles de azúcar en la sangre, la presión arterial y el metabolismo, que nos permiten reaccionar y desempeñarnos eficientemente en tareas de razonamiento lógico, resolución de problemas, cálculos y análisis matemáticos. Nuestro cerebro se encuentra en un estado de respuesta rápida, donde podemos fácilmente realizar tareas de observación, clasificación y comparación; destrezas muy necesarias en materias científicas.

Por otro lado, en la segunda parte de la mañana el trabajo cognitivo tiene un mejor rendimiento. En la medida en que la temperatura corporal asciende, la capacidad de memoria y concentración van mejorando. Para asignaturas donde es importante mantener niveles altos de concentración y captar en la memoria mucha información, desarrollar el pensamiento crítico y la comprensión lectora, esta etapa de la mañana es ideal dado el estado interno del cuerpo. La capacidad de concentración y enfoque normalmente comienzan a disminuir en la tarde por lo que su aprovechamiento óptimo es antes de almuerzo.

“Most people are more easily distracted from noon to 4 p.m., according to recent research led by Robert Matchock, an associate professor of psychology at Pennsylvania State University” (THE WALL STREET JOURNAL, YOUR BODY’S BEST TIME FOR EVERYTHING, 2012).

Llegada la tarde, el metabolismo alcanza su peak y es el momento del día en donde convertimos grasa en energía más eficientemente, por lo que realizar actividad física en dicho momento es aprovechar los efectos saludables óptimamente. Además, según la evidencia analizada, hacer deporte, desarrollar habilidades motrices gruesas como correr, saltar, lanzar, y realizar ejercicios de coordinación, tienden a una mejor respuesta en este período del día. Todo esto debido a que en estas horas tenemos mayor fuerza muscular, tiempos

de reacción más rápidos, mejor memoria motriz y nuestros pulmones funcionan más eficientemente.

A medida que se hace más tarde, los niveles de serotonina comienzan a disminuir en el cuerpo, la apariencia de color de la luz es más cálida y el cuerpo entra en un estado más relajado y tranquilo. En este momento, las asignaturas artísticas, musicales y de manualidades son la mejor alternativa para aprovechar el esparcimiento mental, la imaginación y la creatividad. El cuerpo sigue respondiendo a la coordinación y habilidades motrices finas propias de este grupo de materias. Para los alumnos es ideal terminar la jornada escolar con este tipo de ambiente, los deja con una sensación más descansada para propiciar las condiciones del ciclo del sueño.

Esta programación es especialmente útil en el ciclo escolar básico, debido a que los alumnos siguen una rutina impuesta por el colegio, y en la mayoría de los casos, todas sus actividades relacionadas con el colegio las realizan durante la jornada escolar. Luego, cuando los alumnos van creciendo se vuelven más independientes y administran ellos su tiempo; ellos determinan cuándo estudian, cuándo ven televisión, cuándo se acuestan, etc. De esta manera, es relevante inculcarles un horario óptimo cuando todavía están bajo el alero del colegio y de sus padres, intentando lograr un hábito en ellos. (REFERENCIA: EDUCATIONAL LEADERSHIP, GIVING STUDENTS THE (RIGHT) TIME OF DAY, 1998, P. 84)

| MÓDULOS | ESCENARIOS | ASIGNATURAS |
|---------------|------------------|--|
| 8:15 - 9:00 | 3.000 - 4.000 °K | Matemático / científico |
| 9:00 - 9:45 | 500 lux | |
| 9:45 - 10:00 | Apagado | Recreo |
| 10:00 - 10:45 | 4.000 - 6.500 °K | Matemático / científico o Humanista |
| 10:45 - 11:30 | 500 lux | |
| 11:30 - 11:45 | Apagado | Recreo |
| 11:45 - 12:30 | 7.000 - 9.000 °K | Humanista |
| 12:30 - 13:15 | 650 lux | |
| 13:15 - 14:00 | Apagado | Almuerzo |
| 14:00 - 14:45 | 4.000 - 6.500 °K | Educación física |
| 14:45 - 15:30 | 500 lux | |
| 15:30 - 15:45 | Apagado | Recreo |
| 15:45 - 16:30 | 3.000 - 4.000 °K | Educación artística |
| 16:30 - 17:15 | 300 lux | |

En el Anexo 3 se expone de manera referencial una malla curricular de acuerdo a los horarios biológicamente efectivos para cada asignatura.

Si bien esta programación es óptima, sí existe espacio para la flexibilidad. Estos ciclos hormonales mencionados son procesos continuos que se desarrollan gradualmente durante el día, de manera que hay espacios para modificar en pequeña medida la modulación de clases. Ésta muchas veces está condicionada por los diferentes horarios de los colegios, de los recreos y módulos de clases, en fin, de la capacidad de adaptación del establecimiento.

c. Propuestas de sistemas dinámicos

Para cumplir con los objetivos del proyecto, se construyen dos propuestas de sistemas dinámicos de iluminación (para una sala tipo modelada) con diferentes alcances, las cuales se basan en los beneficios de la luz natural en el funcionamiento interno del cuerpo en el contexto de la enseñanza.

Las propuestas se diferencian en la tecnología y parámetros a controlar, por ende, en los costos de aplicación y operación. El objetivo es aumentar las oportunidades de aplicación según cada establecimiento en particular. Para ello, se desarrolla una propuesta con un nivel de intervención básico, y otra con alcance completo, con mayores niveles de flexibilidad y adaptabilidad.

Ambas propuestas cumplen con los objetivos del proyecto y logran el cometido principal de esta iniciativa. Aunque también es claro que una propuesta con mayor intervención tendrá mejores resultados a costa de una mayor inversión inicial.

La *primera propuesta* consiste en instalar luminarias para 8 tubos LED de 18W, de los cuales 4 serán blanco cálido y 4 blanco frío. Éstos están asociados a un sistema de control comandado por 4 relojes control horario para dar los golpes de encendido de acuerdo a los escenarios planteados.

Esta propuesta no permite total flexibilidad dado la simpleza del sistema pero sí permite la creación de escenarios lumínicos más fríos y más cálidos para las diferentes etapas del día.

Se cuenta con múltiples golpes de encendido por luminaria; cada golpe comanda un grupo de tubos, de manera que se pueden modular estos grupos para crear las combinaciones que se requieran. Los escenarios van desde uno cálido con 3.000 °K hasta el más frío posible para esta tecnología, 6.500 °K. El rango intermedio se puede obtener mediante combinaciones de encendido de los tubos. De igual manera se pueden lograr distintos niveles de intensidad.

La cantidad de luminarias dependerá del tamaño de la sala, analizando la cantidad y disposición de los pupitres, muebles y pizarrón. Todas funcionarán en conjunto, es decir, los niveles de iluminancia e intensidad serán controlados a nivel global y parejo. Es un sistema dinámico por su variación circadiana, más no adaptativo a las condiciones particulares presentes en determinados momentos. De igual modo, con el hecho de simular lo más posible la luz natural, se produce el efecto biológico en el cuerpo, ayudando a mantener y regular los ciclos de secreción de hormonas, y por ende, mejorando la concentración, el estado anímico y el rendimiento.

Esta alternativa es la más económica y sencilla de implementar, de manera que los colegios más precarios y que carecen de medios para financiar una mayor inversión inicial podrían ser quienes más se benefician con esta propuesta.

La *segunda propuesta* es una versión con un sistema de manejo y gestión en iluminación circadiana más robusto. A través de la instalación de luminarias LED de gran calidad y con tecnología incorporada para la variación de temperatura de color e intensidad, se apunta a crear un ambiente lo más adecuado posible para la enseñanza y el aprendizaje dentro de la sala de clases.

Gracias a la interacción de los componentes, se pueden ajustar las configuraciones mediante un panel de control para establecer escenarios predeterminados. Éstos pueden setearse para que se muestren a un horario fijo, al mismo tiempo que se pueden programar las transiciones entre ellos de manera gradual y sutil. Por otro lado, se contempla realizar un ajuste trimestral de la configuración, de manera que los niveles se ajusten a la estación del año y no se afecte el ritmo circadiano ni infradiano (ciclos que duran más de 24 horas en nuestro cuerpo) de los usuarios.

Esta iluminación dinámica circadiana se complementa con sensores de luz natural, para tener

un mejor manejo y administración de la luz dentro de la sala, y aumentando el ahorro energético. Es decir, al estar sincronizado con dichos sensores, permite la regulación de las intensidades de la luz artificial de acuerdo a la cantidad de luz natural que entra por las ventanas o puertas. De esta manera, la luz artificial se utiliza en la intensidad únicamente requerida. Es claro que esto ayuda a la disminución del consumo energético, así como también, a la reducción de las emisiones de CO₂, dando créditos a los establecimientos que opten por certificaciones ambientales.

Esta alternativa es, entonces, tanto dinámica como adaptativa. Pues no solo ajusta los niveles según horario, sino que también se auto regula según las condiciones externas. Además las capacidades de esta tecnología permiten lograr un rango de temperatura entre 3.000 y 9.000 °K, lo que otorga una mejor posibilidad de crear escenarios biológicamente ideales para el aprendizaje.

Esta segunda propuesta tiene un mayor costo de implementación, pero a la vez tiene un consumo bastante menor respecto de la anterior. Por otro lado la versatilidad y adaptabilidad del sistema garantiza beneficios biológicos mayores. Por todo esto es que la segunda alternativa se prevé como ideal para colegios que cuenten con mayor capacidad de inversión y que estén dispuestos a destinar más recursos en pos de captar un mayor beneficio para los alumnos y un mejor ahorro económico.

“Intelligent control systems combining daylight and artificial lighting have a decisive function in educational buildings”
(ZUMTOBEL, LIGHT FOR EDUCATION AND SCIENCE, P. 4)

El ideal de aplicación de las propuestas sería la integración de todo el recinto escolar para obtener el mayor beneficio de la propuesta. En caso de ser así, los pasillos, salas de profesores, recintos deportivos, comedores, baños, etc., debiesen ser

analizados por separado y tomando en cuenta otros parámetros a controlar. Asimismo, estas propuestas varían según la cantidad de luz natural que ingresa en cada sala en particular, y ahí es donde se integra la “gestión de iluminación” explicada anteriormente, donde la variación y flexibilidad de la intensidad tendrá relación con la entrada de luz natural, las tareas a realizar, y la hora del día y estación del año. Sin embargo, si la inversión inicial no puede considerar todo el establecimiento, según los estudios analizados, el sistema debería aplicarse al menos en niños de edades entre 7 y 10 años, ya que al crecer las personas desarrollan otras estrategias y entrenan la concentración de diversas maneras, por lo que la mayor incidencia se produce a temprana edad.

“Children have less ability to control their environmental exposures since they have less control in general over their situations and surroundings and have a less developed ability to communicate symptoms of illness or discomfort” (BAKER, THE IMPACT OF SCHOOL BUILDINGS ON STUDENT HEALTH AND PERFORMANCE, P.29).

d. Escenarios para cada propuesta

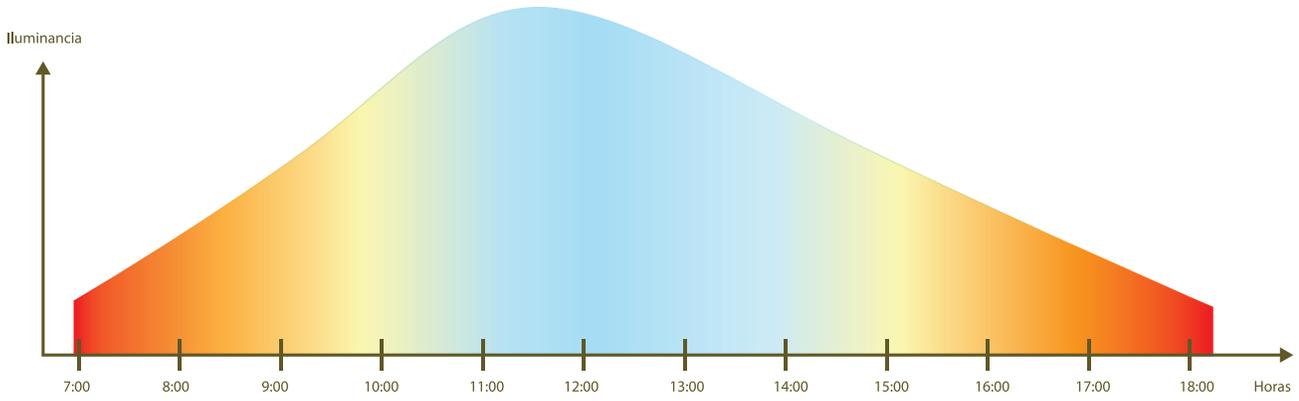
Ya se han mencionado las capacidades y diferencias entre ambas propuestas, y por otro lado se propuso el horario de clases ideal para el aprendizaje combinando asignaturas con escenarios lumínicos. Ahora bien, ese resultado teórico debe verse representado en una propuesta concreta para cada una de las alternativas de inversión para las salas de clases.

De esta manera tendremos que cada propuesta replicará los escenarios ideales de la mejor manera posible, acorde con sus capacidades técnicas. Es así que para la primera, sólo se podrá lograr escenarios con temperatura de color entre 3.000 - 6.000 °K. Además su tecnología no permite transiciones graduales entre escenarios, sino que estos se realizan de manera súbita. Para evitar desconcentraciones de los alumnos, estos cambios se programan para realizarse durante los recreos.

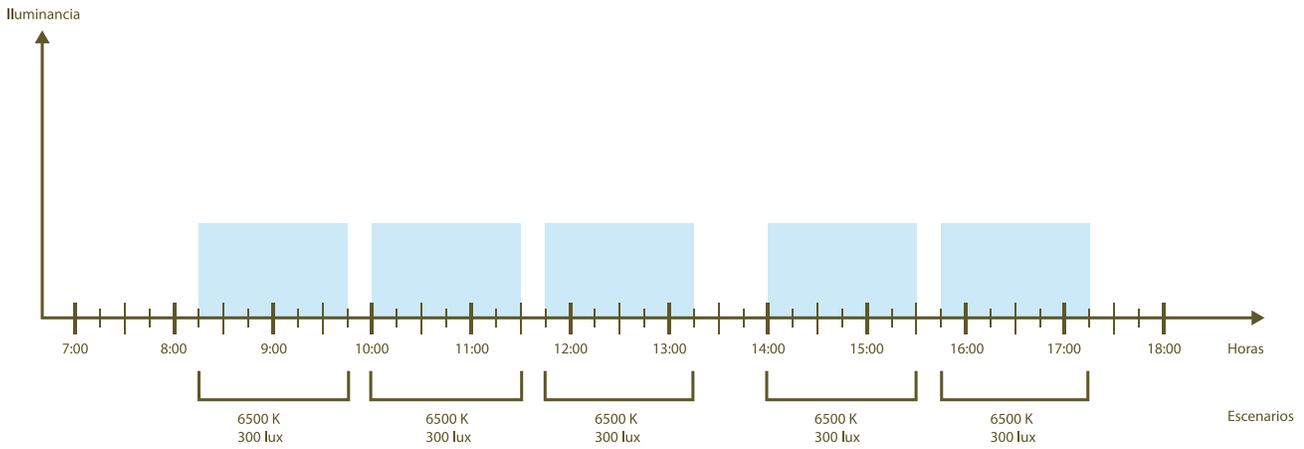
El resultado de esto es que se divide el horario de clases en 5 módulos con escenarios lumínicos distintos. Estos escenarios buscan replicar las condiciones lumínicas de un día regular de la mejor manera posible de acuerdo a las posibilidades de esta tecnología. En total son 4 combinaciones que se programan en 5 bloques horarios (un escenario se repite) y cuya transición se realiza durante el recreo para no distraer a los alumnos.

Por otra parte, la segunda propuesta cuenta con mayores versatilidades, de manera que sí es posible cubrir el rango completo que se propone en el escenario teórico ideal, logrando cubrir temperaturas tan altas como 9.000 °K. Además las transiciones graduales del sistema permiten realizar cambios sutiles de temperatura de color durante un módulo de clases y que sea imperceptible para los alumnos. Estos cambios durante clases son sólo en cuanto a temperatura de color, dejando los cambios de intensidad para los recreos, al igual que la propuesta anterior.

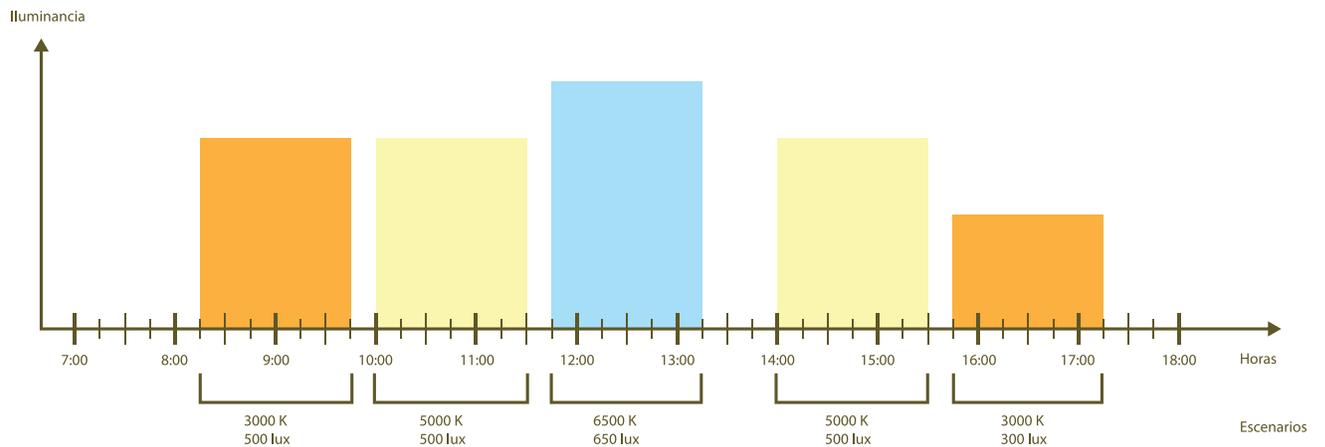
Esto deriva en que dentro de los mismos 5 módulos de clases habrá 3 transiciones de temperatura, lo que genera que durante un mismo bloque se tendrán 4 escenarios distintos con transiciones suaves entre ellos. Luego al abandonar la sala de clases para el recreo, el sistema regula la intensidad en caso que esté estipulado y prosigue con los cambios de temperatura de color. De esta forma existirán 20 escenarios que emularán la curva de cambios lumínicos continuos de un día de una mejor manera.



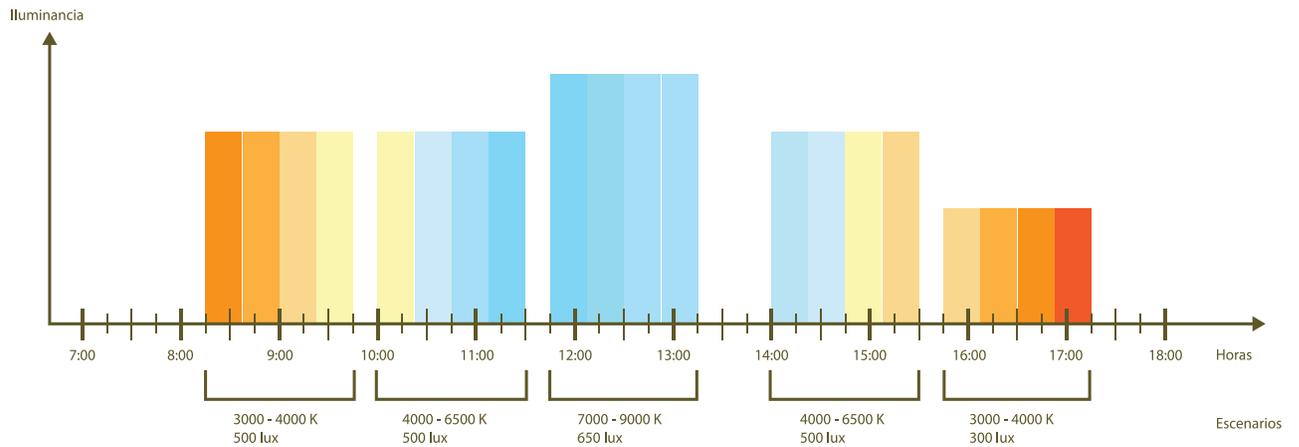
Simulación ciclo luz solar tipo.



Simulación línea base mejorada.
No existen cambios, iluminación fija.



Simulación Propuesta 1: 5 escenarios con tubos LED.
Cambio entre módulos.



Simulación Propuesta 2:
20 escenarios dispuestos
en 5 módulos mediante
luminarias inteligentes.
Cambio gradual.

e. Simulación de propuestas

Se realizó una simulación aproximada para ambas propuestas de iluminación, así como también, de la situación base promedio encontrada en los colegios visitados. Y para tales efectos, se utilizaron productos de la marca *Zumtobel* que cumplen con la mayoría de las características requeridas. Sin embargo, se trata de productos bastante genéricos y que se pueden encontrar similares en diferentes marcas del mercado.

Se seleccionó esta marca debido a su disponibilidad en el mercado nacional y a que se realizó también la cotización económica con estos. Esto no implica necesariamente que se utilizarán en el futuro, ni tampoco que sean los más adecuados técnicamente, pero sí otorgan un marco de referencia sobre el cual trabajar.

Estas simulaciones son muy relevantes por cuanto permiten cuantificar diversos aspectos que hasta ahora se manejan de manera cualitativa. Los resultados de parámetros lumínicos y ahorro energético logrado son fundamentales para evaluar la viabilidad del proyecto y afinar las estrategias de desarrollo a nivel técnico y económico.

Las simulaciones se llevaron a cabo en el programa RELUX, en el cual se modela una sala de clases de 8 x 6,5 metros aproximadamente, 2,4 metros de altura, con índices de reflexión conservadores y dotada de mobiliario estándar. Los modelos se realizaron de acuerdo al siguiente detalle de componentes para cada una de las propuestas y del escenario base.

1. Escenario base sin intervenir:

⌘ 6 luminarias para 4 tubos fluorescentes T8 de 36W, Blanco Frío con ballast electromagnético incorporado

2. Propuesta 1 con tubos LED:

⌘ 6 luminarias para 8 tubos LED T8 de 18W, 4 de ellos Blanco Frío y 4 Blanco Cálido (no requiere equipo eléctrico auxiliar)*
⌘ Sistema de control, con 4 relojes control horario con 4 golpes de encendido

3. Propuesta 2 con luminaria inteligente:

⌘ 6 Luminarias LED con óptica micropiramidal MPO+. Potencia total: 54W, luminaria habilitada para control DALI. Temperatura del color 3.000-6.000 °K.
⌘ Sistema de control *Circle Tune Kit CCW*. Paquete que permite ajustar luminosidad y temperatura de múltiples luminarias en simultáneo. Posibilidad de configurar escenarios.

*Se simula con 4 tubos encendidos simultáneamente.

Ficha técnica producto de la propuesta 2 con luminaria inteligente adjunta en Anexo 4.

e.1. Resultados

A continuación se describen los resultados obtenidos de las simulaciones para las tres situaciones. Se analizan parámetros lumínicos como la iluminancia, parámetros de eficiencia energética de las luminarias individuales y del sistema como conjunto, y también se registran los consumos anualizados para la sala de clases simulada.

Podemos observar que se obtienen grandes mejoras en términos de la iluminancia media percibida dentro de la sala de clases, donde es notable el aumento de más del 62% en la propuesta número 2 respecto al escenario base.

Cabe mencionar que la base de comparación es un escenario mejor que el encontrado en las visitas a terreno, pues estos colegios se encuentran lejos de cumplir con la norma que exige una iluminancia mínima de 200 lux. Se modeló un colegio con condiciones de iluminación no tan deficientes para obtener resultados más conservadores. Por otro lado, los niveles de iluminancia obtenidos son bajo condiciones de oscuridad total fuera de la sala de clases, es decir no considera ningún aporte lumínico de luz exterior. Esto significa que los resultados de iluminancia debieran ser mayores en todos los casos, pero para aislar el efecto solar se simuló de esta manera.

Por otro lado es destacable que tanto el nivel mínimo como máximo de lux dentro de la sala aumentaron progresivamente entre el caso base, la propuesta 1 y la 2. El índice de uniformidad media (E_{min}/E_m) muestra una mejora también, lo que significa que en la sala se logra una iluminación más pareja y con puntos mínimos no tan alejados del promedio. Sobre la dispersión entre valores mínimos y máximos, no se obtienen mejoras, principalmente porque se logran peaks de iluminancia muy altos. Esto se debe remediar con un rediseño del layout de luminarias en una segunda iteración.

De los resultados de consumo podemos notar el gran ahorro que se logra en ambas propuestas al utilizar luminarias basadas en tecnologías LED. Se debe precisar que la simulación se realizó sin los sensores de fotoceldas que atenúan los niveles de intensidad de las luminarias de la propuesta 2 según la contribución de luz natural que se perciba dentro de la sala. El porcentaje de ahorro que se estimó es de un 30%, de acuerdo a la literatura consultada. Este ahorro se incorpora luego de los resultados de la simulación para obtener los valores precedentes.

En otro ámbito, es sobresaliente el avance en términos de eficiencia en el uso de la energía. Esto se puede ver primero a nivel de cada artefacto in-

Tabla Resultados Iluminancia

| VARIABLES | Em [lx] | E _{min} [lx] | E _{máx} [lx] | E _{min} / E _m | E _{min} / E _{máx} | Aumento Em [%] |
|-------------------------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|----------------|
| Escenario base | 254,28 | 144 | 367 | 0,566 | 0,392 | - |
| Prop. 1: tubos LED | 328,17 | 192 | 490 | 0,585 | 0,392 | 29,1% |
| Prop 2: luminaria inteligente | 412,89 | 245 | 690 | 0,593 | 0,355 | 62,4% |

Tabla Resultados de Consumo y Eficiencia

| VARIABLES | Consumo anual [KWh] | Ahorro consumo | IEE* | Mejora IEE [%] | Ratio lum/W | Mejora lum/W |
|-------------------------------|---------------------|----------------|------|----------------|-------------|--------------|
| Escenario base | 2.074 | - | 16,0 | - | 36,99 | - |
| Prop. 1: tubos LED | 1.037 | 50,0% | 6,2 | 61,3% | 88,89 | 140,3% |
| Prop 2: luminaria inteligente | 454 | 78,1% | 2,1 | 86,5% | 90,74 | 143,3% |

dividual, en el ratio de lúmenes emitidos por Watt, donde se ven mejoras por sobre el 140% en ambos casos. Y segundo tenemos el Índice de Eficiencia Energética, que combina la eficacia individual de las luminarias y las pérdidas de los equipos empleados en el sistema para un nivel de iluminación dado, se tienen mejoras de alrededor de un 61 y 87% para cada propuesta.

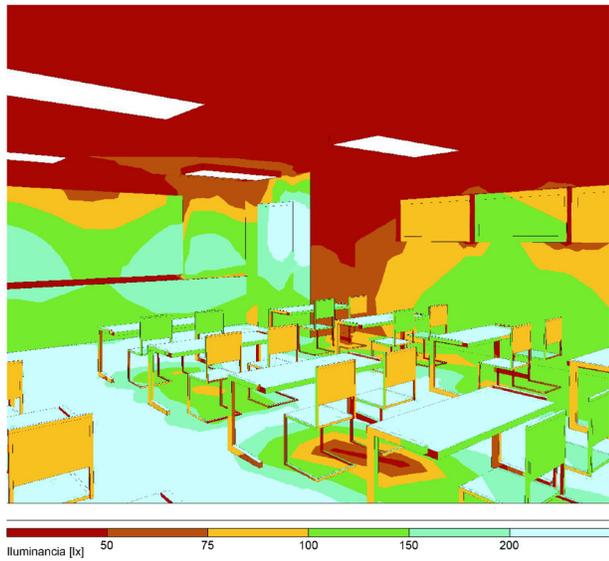
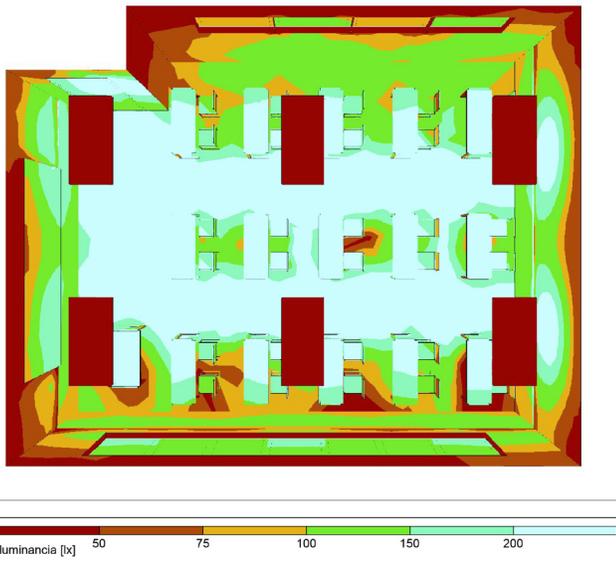
En términos puramente técnicos, sin considerar aún el plano económico, se concluye que el proyecto tiene la potencialidad de lograr los principales objetivos propuestos, ya que los resultados se encuentran por sobre los umbrales requeridos, o bien muy cerca de ellos. Se mejoran los niveles de iluminancia media y se obtiene un ahorro energético relevantes, y se proyecta que al afinar la propuesta en las etapas venideras, se consolidarán los resultados a favor del proyecto.

Tablas de iluminancia de la línea base y propuestas simuladas, y de resultados de consumo y eficiencia.

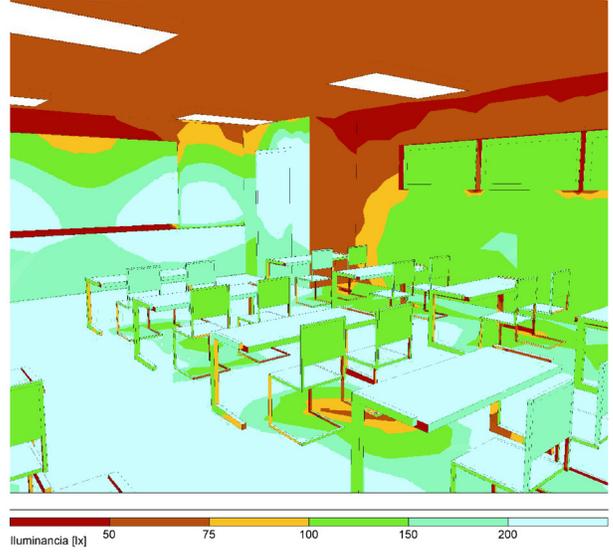
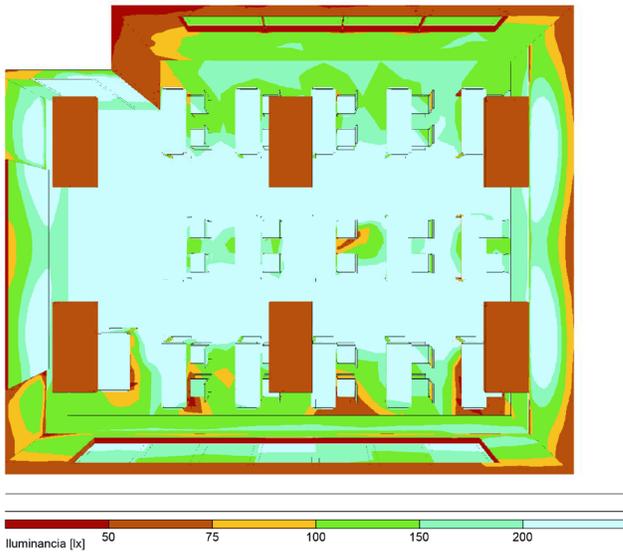
*Índice Eficiencia Energética $[W/(m^2 \text{ lx}) \times 100]$

Fuente: ELABORACIÓN PROPIA SEGÚN RESULTADOS OBTENIDOS EN RELUX.

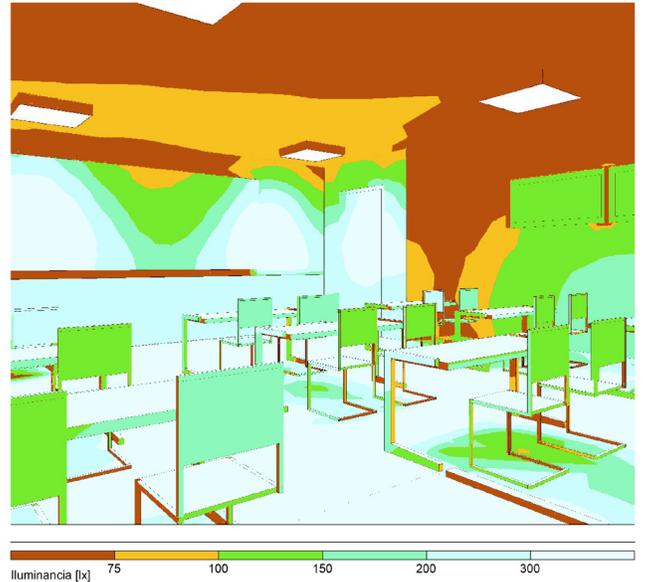
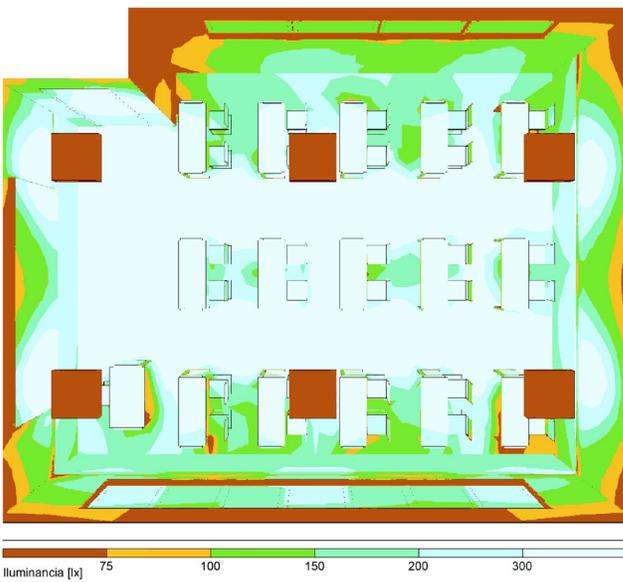
Los siguientes diagramas son el resultado de la vista en planta arrojados por el RELUX de cada una de las propuestas simuladas.



Línea base simulada



Propuesta 1: Luminaria con tubos LED



Propuesta 2: Luminaria inteligente

IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO

a. Proceso global

En el camino a la concreción de este proyecto existen diversas etapas e hitos por completar. Actualmente el proyecto se encuentra en la etapa de formulación y establecimiento de alianzas clave. Luego vendrá la etapa de prototipado y testeo, análisis de resultados y definición de propuesta final para llevar a cabo el proyecto a gran escala.

Luego de diversas reuniones y trabajo en conjunto, se estableció una alianza con la empresa Bluenow de eficiencia energética, a través de su gerente general Fernando Araya. Esta alianza se visualiza como clave y de mutuo beneficio debido a que se trata de una empresa con experiencia en el rubro y que ha realizado proyectos exitosos en centros educacionales, lo que abre puertas para establecer contacto con entidades públicas como la ACHEE y el MINEDUC, y con diferentes proveedores. Y por otro lado la empresa explora una nueva línea de negocios de alto impacto, gran escalamiento y proyección a futuro.

Bluenow

Es una empresa de servicios energéticos ESCo (Energy Service Company), enfocada en el diseño e instalación de proyectos eléctricos y de iluminación eficiente. Dentro de sus proyectos realizados se encuentran oficinas, instituciones, centros comerciales y educacionales, hoteles, restaurantes, edificios residenciales e industriales.

Actualmente existen conversaciones con el Ministerio de Educación, a través de la ACHEE (Jessica Miranda, jefa de la Línea de Desarrollo en Educación), donde se ha presentado la propuesta y los objetivos que se pretenden lograr. El documento desarrollado en esta tesis servirá como pauta

para presentar todas las aristas del proyecto. El objetivo de esta reunión será establecer un vínculo de auspicio para contar con el apoyo y aprobación del Mineduc, para certificar que esta iniciativa va en línea con los objetivos que tiene la agenda nacional en temas educacionales.

En paralelo, se realizará la búsqueda de financiamiento para el desarrollo inicial, ya sea mediante capitales privados o fondos públicos concursables. Recientemente, fondos de este tipo como Impacta Energía, Jump Chile, Educa Chile, por nombrar algunos, han apoyado iniciativas relacionadas al cómo satisfacer necesidades energéticas con soluciones eficientes, o desarrollos de estrategias para el mundo de la educación que mejoren el aprendizaje y preparación de estudiantes a través de la integración de nuevas tecnologías. O en el caso de la incubadora Engie Factory que busca apoyar proyectos sustentables y digitales que tengan como premisa mejorar la calidad de vida de las personas e impactar positivamente en el medio ambiente.

Posteriormente, se efectuará la elección del colegio en donde realizar el modelo piloto. Este piloto será un modo de testear, analizar y verificar todo lo demostrado por los estudios referenciales respecto del tema, en el contexto nacional. En la sala de clases elegida se realizará una auditoría energética, donde se hará un levantamiento de las condiciones iniciales, línea base de consumo y variables a controlar. Con esa información se desarrolla el diseño de la propuesta de mejora, la simulación del ahorro a obtener y la formulación del esquema de negocios, luego el colegio debe planificar sus asignaturas de acuerdo a lo planteado.

A través de la empresa proveedora se encargan los productos necesarios para la realización del modelo piloto y comienza la instalación. El objetivo es aprovechar los meses de verano para las obras, de manera que los alumnos comiencen su año escolar con el sistema instalado y se hagan las mediciones correspondientes a lo largo del año.

Este seguimiento consiste en medición de resultados de consumo, niveles de iluminancia, niveles de melatonina de los niños a determinadas horas y pruebas específicas que demuestren cambios de concentración, velocidad de lectura, entre otros. Con estos resultados será posible realizar a tiempo los cambios y ajustes correspondientes para mejorar y optimizar el sistema.

Con esta primera prueba se llegará a resultados y conclusiones para hacer posible la implementación de esta metodología en la mayor cantidad de colegios a nivel país. Claramente no se descarta tener que volver a iterar y realizar ajustes hasta afinar los detalles de la propuesta definitiva.

b. Proceso para la ejecución de un proyecto

En cuanto a los pasos para el desarrollo de cada uno de los proyectos en los distintos colegios, se utilizará la estrategia que actualmente adopta Bluenow para sus proyectos.

En primer lugar, se realiza una auditoría energética con levantamiento de información en el lugar para establecer la línea base desde donde se comienza el proyecto. Se dimensiona el espacio geométrico a intervenir con todo el mobiliario. Se registra la cantidad y tipo de luminarias, cuál es la distribución en la sala y los niveles de iluminancia. Además, por un período determinado de tiempo se miden los consumos de una o varias salas de clases bajo condiciones registradas de luz exterior, horario y estación del año. También se realiza un registro fotográfico del lugar, una encuesta básica para tener conocimiento de las horas de uso, y en este proyecto en particular, se registrará la malla curricular por sala y las actividades que se realizan en cada una.

En segundo lugar, la empresa diseña el proyecto. Se computan los cálculos de la línea base y se de-

termina la propuesta a realizar, tomando en cuenta los equipos, la cantidad, el consumo y la inversión asociada. El tiempo estimado de modelación para una sala es alrededor de 2 a 3 días, pero en caso de ser un proyecto a escala colegio, existe una curva de aprendizaje que agiliza el proceso.

Dentro de esta etapa se definen los objetivos concretos de la intervención y los indicadores para corroborar su cumplimiento. Aquí también se establecen los procedimientos de mantenimiento y control para la fase de operación.

Es especialmente importante el Plan de Medición y Verificación, ya que no es trivial el cálculo de los ahorros generados durante la ejecución del contrato de una empresa ESCO. Esto debido a que el consumo depende del nivel de uso, de condiciones externas variables, cambios extraordinarios imprevisibles, correcto uso y mantenimiento de las instalaciones, entre otros. Es debido a lo anterior que es común contratar a una empresa externa para las tareas de medición y verificación, que usualmente operan bajo metodologías y protocolos internacionales ampliamente difundidos (como el IPMVP). Esto garantiza independencia, objetividad y confianza para el cliente.

Luego de la definición completa del proyecto se hace la entrega de la documentación al cliente; incorporando planos, propuesta técnica y económica, memoria ejecutiva, manuales de operación y procedimientos, fichas de productos, y la memoria de cálculo.

Posteriormente, se ejecuta la implementación. En esta etapa se compran los suministros y componentes eléctricos necesarios, se hace la instalación en aproximadamente 3 días por sala, donde la empresa supervisa la obra. Se realizan configuraciones, pruebas y ajustes de los sistemas para asegurar que el output es el esperado. Finalmente se entrega el sistema al cliente, con las capacitaciones que correspondan, y comienza la puesta en marcha del sistema operado por él.

International Performance Measurement and Verification Protocol

MODELO DE NEGOCIOS

Cómo ya se ha dicho, el propósito de este proyecto es mejorar las condiciones ambientales dentro de las salas de clases de los colegios de Chile, y de esta manera contribuir a generar un mejor entorno para el aprendizaje de los alumnos. Y se pretende lograr esto impactando uno de los elementos fundamentales de nuestras vidas: la luz.

Ahora bien, para que esto se convierta en una realidad y no se desvanezca en sólo buenas intenciones, se necesita de un modelo económico sustentable y atractivo para los participantes, que permita el escalamiento de la iniciativa.

Es por ello que se propone aprovechar un aspecto imprescindible de este proyecto; la eficiencia energética. Al seguir la máxima “lograr hacer más con menos”, se obtiene un ahorro energético que se ve reflejado en un beneficio económico. Y es precisamente esta ganancia la que permitirá financiar la inversión requerida para el recambio de artefactos.

a. Modelo ESCO

Una tendencia relativamente nueva que emergió con el nacimiento de las Empresas de Servicios Energéticos es el modelo de negocios tipo ESCO.

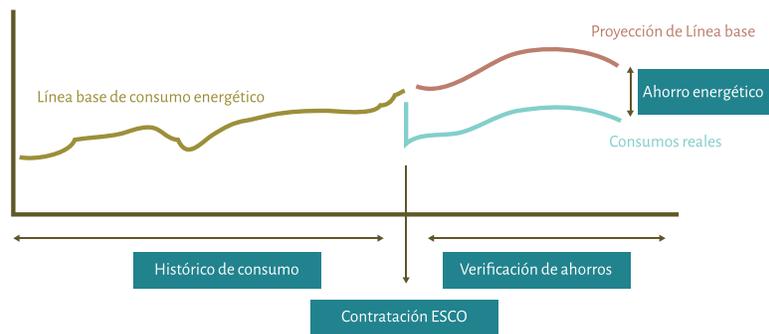
Este sistema de negocios permite que el cliente, que es quien consume energía, pueda seguir enfocando sus recursos a su actividad principal. Es decir, en el caso de los establecimientos educacionales, pagar a un buen profesorado, invertir en materiales de estudio, actividades académicas, y todo lo relacionado a entregar una buena educación a sus alumnos y un buen entorno de trabajo a sus profesores y funcionarios. Mientras tanto, la empresa ESCO se encarga de reducir los consumos energéticos a través de proyectos que modernicen las instalaciones lumínicas y sus tecnologías.

Lo que diferencia este modelo de otros es el apoyo financiero a los clientes para la inversión inicial, para que ellos se decidan a realizar el proyecto sin que el dinero sea una barrera limitante, ya que muchas empresas no están dispuestas a destinar

sus recursos a iniciativas de ahorro energético si eso les implica disminuir los destinados a actividades propias de su giro. Y para ello, la empresa de servicios energéticos ofrece financiamiento, auditoría, instalación, capacitación y seguimiento a cambio de un porcentaje del ahorro efectivo logrado. Es un esquema de ganancia mutua, pues el cliente no necesita comprometer gran cantidad de recursos propios para financiar el proyecto y obtiene un sistema renovado que le significa un ahorro económico. Y por otro lado la ESCO logra un negocio atractivo económicamente que sustenta sus ingresos en tecnologías con rendimientos probados y confiables.

Este esquema presenta muchos otros beneficios para el cliente en contraste con una inversión tradicional a riesgo propio. Primero, se trata de una modalidad que opera bajo un esquema de desempeño, donde el pago por servicio sólo se efectúa en caso de haber ahorros reales. Además existen garantías de pago en caso que los resultados estén fuera del rango esperado. Por otro lado, la cesión de un porcentaje del ahorro es sólo durante un período previamente acordado, de manera que posterior al cumplimiento del plazo, el cliente capta los ahorros en su totalidad.

Los contratos de este tipo establecen claramente las mejoras que se realizarán para conseguir los ahorros. Además se detalla la línea base de consumo, los niveles de ahorro comprometidos y el procedimiento de medición y verificación de resultados. También se establece claramente el horizonte de tiempo en que la ESCO percibirá los ingresos por concepto de ahorro energético.



Existen muchas las variantes de modelos de negocio tipo ESCO, cada una con sus ventajas y debilidades, con distintos tipos de riesgos y actores que lo asumen, y con diferentes costos financieros asociados y períodos de retorno de la inversión.

Se propone trabajar bajo el esquema de ahorros compartidos, debido a que se perfila como la más atractiva para el cliente, ya que deposita el riesgo financiero y técnico en la ESCO. De todas maneras, esta decisión es preliminar y sujeta a evaluación para cada proyecto en particular. Esto debido a que cada colegio tiene sus particularidades que deben analizarse al momento de ofrecer y seleccionar la modalidad de contrato más adecuada.

Fuente: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA, 2010.

Los diferentes modelos de negocio tipo ESCO se explican en el Anexo 5.

b. Evaluación de ahorro y costo de un proyecto

Para analizar la factibilidad de la iniciativa global es necesario realizar un modelamiento de los costos e ingresos de un proyecto particular. Es así que los resultados obtenidos sobre los ahorros energéticos sirven de base para el cálculo del beneficio económico obtenido al instalar artefactos lumínicos más eficientes.

Se solicita a la empresa Zumtobel que realice la cotización de provisión e instalación de los productos que mejor cumplen con los requisitos técnicos de las dos propuestas. Cabe mencionar que debido a que la cotización se realiza para una sola sala de clases, los costos son más elevados que si se contara con una alianza de provisión para múltiples proyectos. En ese caso los costos de artefactos disminuirían debido a las economías de escala, y también se aprovecharían de mejor manera los recursos humanos asociados a la instalación y mantención.

Como se mencionó anteriormente, se define a priori que se trabajará bajo la modalidad de ahorros compartidos, y en específico con un esquema *Fast-Out* que entrega la totalidad de los ahorros logrados a la ESCO para reducir al máximo el período de captación de éstos.

Por otro lado, y dado que el nivel de consumo de una sala de clases no es de una magnitud tal que permita una rápida recuperación de la inversión, se propone la posibilidad de pagar un porcentaje de pie del monto total al principio para amortizar antes el costo de la propuesta. En específico se modela el pago de un 20% del costo de las luminarias al inicio, lo que significa un pago de alrededor de \$200.000 para la primera propuesta, y de \$750.000 para la segunda. Ambos valores se perciben como adecuados para cada propuesta si recordamos que el colegio objetivo de cada una es distinto. En la primera propuesta de tubos LED se logran grandes beneficios para los alumnos y el colegio a un costo

accesible, ideal para colegios con finanzas ajustadas. Mientras que por otro lado, la propuesta de luminarias inteligentes es una solución completa que saca el máximo provecho de las tecnologías existentes, alternativa perfecta para instituciones que cuentan con los recursos para pagar un pie de inversión mayor, pero aún así asequible.

Se mencionó anteriormente que es fundamental para este proyecto el patrocinio del MINEDUC y de la Agencia Chilena de Eficiencia Energética, y no solo en términos de apoyo logístico y difusión, si no que de una manera más concreta, mediante el otorgamiento de subsidios para la implementación de los proyectos de mejora.

Se pretende lograr un convenio tal que se obtenga un subsidio de \$250.000 para la implementación de una propuesta de tubos LED en una sala de clases, y de \$1.000.000 para una de luminarias inteligentes. Cabe destacar que los objetivos de este proyecto se alinean bastante con algunos objetivos tanto del ministerio como de la ACHEE, de manera que no es forzado pensar en un apoyo de esta magnitud.

| Escenario Base | Total consumo anual [KWh] | Costo energía anual [\$] |
|----------------|---------------------------|--------------------------|
| | 2.074 | \$228.096 |

| Propuesta 1: tubos LED | Total consumo anual [KWh] | Costo energía anual [\$] | Ahorro total anual [KWh] | Ahorro total anual [\$] | Costo total luminarias | Payback puro (años) |
|------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| | 1.037 | \$114.048 | 1.037 | 11.048 | \$1.048.000 | 9,2 |
| | | | Pago de pie [%] | Pago de pie [\$] | Subsidio entidades | Payback (años) |
| | | | 20% | \$209.600 | \$250.000 | 5,2 |

| Propuesta 2: luminaria inteligente | Total consumo anual [KWh] | Costo energía anual [\$] | Ahorro total anual [KWh] | Ahorro total anual [\$] | Costo total luminarias | Payback puro (años) |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| | 454 | \$49.896 | 1.620 | 178.200 | \$3.788125 | 21,3 |
| | | | Pago de pie [%] | Pago de pie [\$] | Subsidio entidades | Payback (años) |
| | | | 20% | \$757.625 | \$1.000.000 | 11,4 |

De los resultados obtenidos podemos notar que los ahorros por sala de clases que se obtienen son bastante importantes, y si se escala a un mayor número de aulas, realmente se puede lograr una economía considerable luego del período de captación de la ESCO. Por otro lado, se cuantifica la importancia de lograr el prepago de parte de la inversión, ya sea mediante el pago de un pie inicial, o bien, gracias al aporte de alguna entidad estatal. El *payback* de ambas propuestas se reduce a casi la mitad si se consideran estas contribuciones.

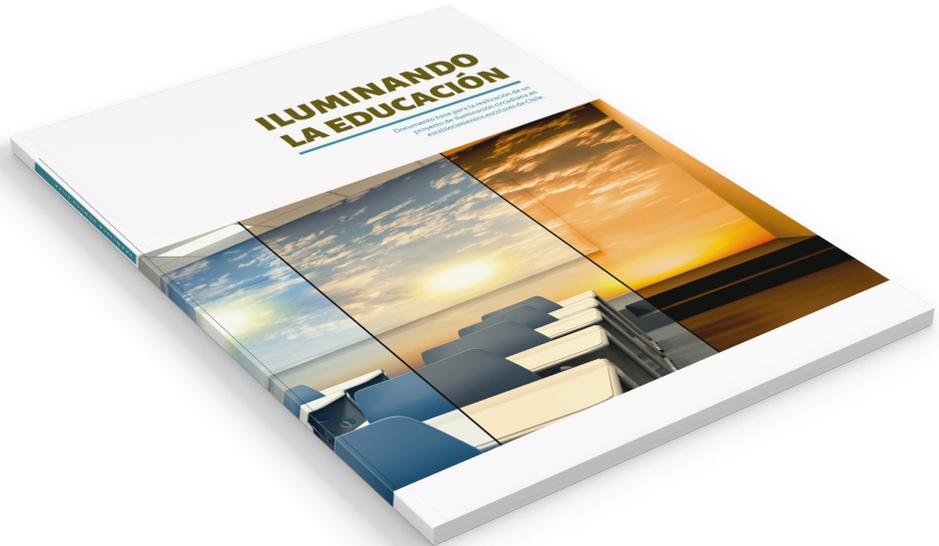
| | | | | |
|---|---|--|---|--|
| <p>SOCIOS CLAVES</p> <ul style="list-style-type: none"> ◊ Bluenow: “know how” y contacto con proveedores ◊ AChEE: certificación energética ◊ Mineduc: auspiciador y llegada a los colegios ◊ Zumtobel: proveedor | <p>ACTIVIDADES CLAVES</p> <ul style="list-style-type: none"> ◊ Establecer alianzas claves para la realización del modelo piloto con medición de resultados ◊ Auditoría energética y levantamiento de información del lugar ◊ Diseño y desarrollo propuesta para cada establecimiento ◊ Contacto con proveedores ◊ Instalación y mantención ◊ Medición y verificación ◊ Análisis de resultados y entrega de reporte anual a colegios | <p>PROPUESTA DE VALOR</p> <p>Generar condiciones lumínicas óptimas para el aprendizaje en las salas de clases de acuerdo a las asignaturas que se realizan en ella.</p> <p>A través de un sistema de manejo y control de la iluminación que simule el ciclo de la luz natural, y una planificación horaria de las materias biológicamente ideal para los alumnos.</p> | <p>RELACIÓN CON EL CLIENTE</p> <p>Relación de presencia con el cliente en la primera etapa para hacer las mediciones correspondientes, y verificar que la calidad lograda es la esperada.</p> <p>Dar la confianza de que está dando resultados (rendimiento académico, ahorro energético).</p> | <p>SEGMENTO DE CLIENTES</p> <ul style="list-style-type: none"> ◊ Primera instancia: Colegios de Chile con educación escolar básica, tanto de altos y bajos ingresos (particulares, particulares subvencionados y públicos), que cuenten con una iluminación deficiente. ◊ Segunda etapa: Todo tipo de establecimiento educacional |
| <p>RECURSOS CLAVES</p> <ul style="list-style-type: none"> ◊ Tecnología de iluminación (productos) ◊ Malla curricular biológicamente efectiva ◊ Conocimiento de los efectos no visuales de la luz y cómo optimizar su impacto en la sala de clases ◊ Especialistas calificados para todas las actividades claves del proyecto (técnicos electricistas, desarrolladores de la propuesta, analistas de los resultados de test, entre otros) ◊ Test y evaluaciones para los indicadores | | <p>CANALES</p> <p>A través del Mineduc como auspiciador del proyecto y de la AChEE como certificador.</p> <p>Llegar directamente a los colegios.</p> <p>Documento como medio.</p> | | |
| <p>ESTRUCTURA DE COSTOS</p> <p>Costos fijos: honorarios de equipo de diseño y técnico, back-office</p> <p>Costos variables: productos e instalación en cada proyecto</p> | | <p>FLUJO DE INGRESOS</p> <p>Modelo de Negocios basado en la estructura ESCo de ahorros compartidos, determinando la tasa específica en cada caso.</p> | | |

DISEÑO DEL DOCUMENTO

El documento desarrollado se utilizará como base de conocimientos y metodología para la realización del proyecto de iluminación circadiana en establecimientos escolares.

A través de ésta se presentará el proyecto al Ministerio de Educación y a los diferentes colegios que se adhieran a la ejecución de éste.

A continuación se muestran visualizaciones del diseño gráfico de este documento, la tipografía utilizada, paleta de colores, entre otros.



Modelo de la portada.
Tamaño: 25 x 18,5 cm.
aproximadamente



OBJETIVOS DEL PROYECTO

1. Creación de una guía académica investigativa (guía) para la enseñanza de las asignaturas más relevantes del programa de estudio.
2. Medir el nivel de aprendizaje de los alumnos en el período de un 20%.
 - Porcentaje de alumnos que aprobaron
 - Cantidad de alumnos que se presentaron
 - Cantidad de alumnos que se presentaron
3. Creación de un curso en línea de un 10%.
4. Medir el nivel de aprendizaje de los alumnos en el período de un 10%.
 - Cantidad de alumnos que aprobaron
 - Cantidad de alumnos que se presentaron
5. Reducir las diferencias académicas de los estudiantes de las asignaturas.
 - Reducir la brecha de aprendizaje
 - Reducir la brecha de aprendizaje

| semestre | asignatura | asignatura | asignatura | asignatura |
|----------|-----------------------|------------|------------|------------|
| 10 | Comunicación | Mat II | Mat III | Mat IV |
| 11 | Matemática | Mat I | Mat II | Mat III |
| 12 | Comunicación de masas | Mat IV | Mat V | Mat VI |
| 13 | Matemática de masas | Mat VII | Mat VIII | Mat IX |

INTRODUCCIÓN

Desde siempre, los seres humanos, como la especie de los mamíferos más avanzada, también hemos sido capaces de aprender por la experiencia y la observación. La capacidad de aprender por la experiencia y la observación es una característica fundamental de los seres vivos. La capacidad de aprender por la experiencia y la observación es una característica fundamental de los seres vivos. La capacidad de aprender por la experiencia y la observación es una característica fundamental de los seres vivos.

Por lo tanto, la función principal de la educación es preparar a los estudiantes para que puedan aprender por la experiencia y la observación. La educación debe ser una experiencia que permita a los estudiantes aprender por la experiencia y la observación. La educación debe ser una experiencia que permita a los estudiantes aprender por la experiencia y la observación.

Luz artificial

La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana. La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana. La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana. La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana.

La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana. La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana. La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana. La luz artificial es aquella que es producida por la actividad humana.

Previsualizaciones páginas interiores con diagramación y paleta de colores elegida.



C: 57
M: 01
Y: 16
K: 00



C: 40
M: 34
Y: 95
K: 08



C: 82
M: 36
Y: 38
K: 05



C: 00
M: 00
Y: 00
K: 100

Tipografía: Adelle Sans
Variantes: Regular,
Bold, e Italic.

9 pt
12,5 interlínea

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis ut quam sollicitudin, tempus arcu at, elementum ipsum. Vivamus in nunc ac mi consectetur dictum vitae in enim. Nulla rutrum eros sed risus vehicula eleifend sed nec eros. Curabitur sem quam, rutrum eget mattis faucibus, malesuada a eros.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis ut quam sollicitudin, tempus arcu at, elementum ipsum. Vivamus in nunc ac mi consectetur dictum vitae in enim. Nulla rutrum eros sed risus vehicula eleifend sed nec eros. Curabitur sem quam, rutrum eget mattis faucibus, malesuada a eros.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Duis ut quam sollicitudin, tempus arcu at, elementum ipsum. Vivamus in nunc ac mi consectetur dictum vitae in enim. Nulla rutrum eros sed risus vehicula eleifend sed nec eros. Curabitur sem quam, rutrum eget mattis faucibus, malesuada a eros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anesco. (s.f). *La eficiencia energética se paga con los ahorros logrados*. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.anescochile.cl/esco/>
- Anónimo. (2012, Noviembre). La AIE alerta de que el mundo se encamina a un futuro energético insostenible con el petróleo a 150 dólares. *Europapress*. Recuperado en abril de 2016 de: <http://www.europapress.es/economia/energia-00341/noticia-economia-aie-alerta-mundo-encamina-futuro-energetico-insostenible-petroleo-150-dolares-2011109170020.html>
- Anónimo. (2015, abril). Horario de verano en invierno, beneficio cero. *Mundo Nuevo*. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.mundonuevo.cl/noticia/118/horario-de-verano-en-invierno-beneficio-cero>
- Agencia Chilena de Eficiencia Energética (2014, abril). *Guía de Eficiencia Energética en el Hogar y la Comunidad* (1era ed.). Santiago. P. 12.
- Baker, L. Bernstein, H. (2012). The Impact of School Buildings on Students Health and Performance: A Call for Research. The Center for Green Schools.
- Beneficios de los LED, Ventajas de la iluminación LED. (s.f.) Recuperado en abril de 2016 de: <http://iluminacionledya.com/beneficios-led.html>
- Burnett, D. (2012). Circadian Adaptive Lighting: A landmark paradigm shift with unprecedented ROI potential.
- Douglas Leonard Lighting Designers. (2016). Presentación Centro de Innovación.
- Fagerhult. (2013). Energy Efficiency and Study-Promoting Light at Secondary Schools. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.fagerhult.com/Support-center/Light-and-health/Research/Research/Energy-efficiency-and-study-promoting-light-at-secondary-schools/>
- Fördergemeinschaft. (2012). Good Lighting for a Better Learning environment. Nro. 02. Recuperado de: www.licht.de/en
- Fördergemeinschaft. (2012). Good Lighting for Schools and Educational Establishments. Nro. 02. ISBN: 3-926 193-25-5
- Fördergemeinschaft. (2014). Impact of Light on Human Beings. Nro. 19. ISBN no. PDF edition (english) 978-3-926193-99-5.
- Fördergemeinschaft. (2016). Lighting with Artificial Light. Nro. 1. ISBN no. PDF edition (english) 978-3-945220-05-4.
- Green Profit Solutions, Inc. (s.f). *Can Lighting Affect Learning?*. Recuperado en junio de 2016 de: http://www.greenprofitsolutions.com/page/Can_Lighting_Affect_Learning/228/92/
- Govén, T. Laike, T. & Pendse, K. (2007). The Background Luminance and Colour Temperatures Influence on Alertness and Mental Health. Recuperado en mayo de 2016 de: http://www.fagerhult.com/Global/Light_support/Research/The-backgronund-luminance-and-colour-temperatures-influence-on-alertness-and-mental-health.pdf
- Govén, T. Laike, T. Raynham, P. & Sansal, E. (2009). Influence of Ambient Light on The Performance, Mood, Endocrine Systems and Other Factors of School Children. Recuperado en mayo de 2016 de: http://www.fagerhult.com/Global/Light_support/Research/The-influence-of-ambient-light-on-school-children.pdf
- Hannah, R. (2013). The Effect of Classroom environment on Student Learning. En *Honor Theses Scholar Works Western Michigan University* (Paper 2375).
- Instituto Tecnológico de la Energía. (2010). Modelo de Negocio de Servicios Energéticos, ESE/ESCOS. España: Valencia
- Laboratorio de Arquitectura UC. (2012). Auditoría energética y de condiciones de confort en establecimientos educacionales. En *Proyecto Aprendizaje en Escuelas del Siglo XXI* (Informe 4).
- Lentamente las energías renovables se están tomando el planeta. (2016, 16 de abril). *El Mercurio*, VA, p. 5.
- Lighting Services (2015, mayo). Lighting and human biological behaviour. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.lightingservices.com/lighting-human-biological-behaviour>
- Luminex. (s.f). Human Centric Lighting: Circadian rhythms. Recuperado de: www.luminex.dk/referencer/under_aktuelt/sundhed/bedre-lys-til-aeldre.aspx
- Lutron. (2012). Daylighting in Schools, Grades K-12: Assisting daylight delivery while controlling electric light.
- Madariaga, M.. (2016, 2 de marzo). Vuelve polémica por cambio de hora: expertos piden al Gobierno reconsiderar medida. En *Publimetro*. Recuperado en abril de 2016 de: <http://www.publimetro.cl/nota/cronica/vuelve-polemica-por-cambio-de-hora-expertos-piden-al-gobierno-reconsiderar-medida/xlQpcb!4Zu4rtELtFRo/>
- Molony, R. (2016, 17 de mayo). Circadian-lighting spectacles achieve global sales. En *Lux Magazine*. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://luxreview.com/article/2016/05/circadian-lighting-spectacles-achieve-global-sales>
- Mott, M. Robinson, D. Walden, A. Burnette, J. & Rutherford, A. (2012, abril-junio). Illuminating the Effects of Dynamic Lighting on student

Learning. Doi: 10.1177/2158244012445585.

OSRAM (2011). Light In Its Third Dimension: The biological aspects of lighting design for better wuality of life. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.osram.com/media/resource/HIRES/337329/1927191/application-brochure-light-and-quality-of-life-gb.pdf>

Philips (2011). Theory of Light and Lighting. Recuperado de: http://www.lighting.philips.com/ma.in/connect/lighting_university/

Pope, N. (2016). How The Time of Day Affects Productivity: Evidence from School Schedules. En *The Review of Economics and Statistics* (Vol. XCVIII, Nro.1)

Samani, S. (2012). The Impact of Indoor Lighting on Students' Learning Performance in Learning Environments: A knowledge internalization perspective. En *International Journal of Business and Social Science* (Vol. 3, Nro. 24).

Slegers, P. Moolenaar, N. Galetzka, M. & Van Der Zanden, B. (2012). Lighting Affects Students' Concentration Positively: Findings from three Dutch studies.

Unesco (2010, julio). Datos Mundiales de Educación (7ma ed.). Recuperado en junio de 2016 de: http://www.ibe.unesco.org/fileadmin/user_upload/Publications/WDE/2010/pdf-versions/Chile.pdf

Unesco (2012, abril). Índice de Desarrollo Humano (IDH) (base de datos). Recuperado en junio de 2016 de: <http://web.archive.org/web/20130427055825/http://hdrstats.undp.org/es/indicadores/103106.html>

USAI Lighting (2015). Color Select: Independent color temperature and intensity control for LED lighting.

Van Der Wymelenber, K. (2014, 19 marzo). The benefits of natural light. *Architectural Lighting*. Recuperado en mayo de 2016 de: http://www.archlighting.com/technology/the-benefits-of-natural-light_0

Vanhemert, K. (2013). Study shows how classroom design affects students learning. En *Co.Design*. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.fastcodesign.com/1671627/study-shows-how-classroom-design-affects-student-learning>

Wiedemann, A. (s.f). Citado en *Philip's Lighting: Putting School Lighting Innovations*. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.lighting.philips.co.uk/cases/cases/education/in-der-alten-forst.html>

Zumtobel (2011). Light for Education and Science. Recuperado de: www.zumtobel.com/education

Fickes, M. (2015, 1 de febrero). Let There Better Light. En *School Planning & Management*. Recuperado en mayo de 2016 de: <https://webspm.com/Articles/2015/02/01/Better-Light.aspx>
Hannon, M. J. (2012, octubre). Co-evolution of innovative business models and sustainability transitions: *The case of the Energy Service Company (ESCO) model and the UK energy system*.

Lighting For People. (s.f). Case Study: Malmo School Introduces Human Centric Lighting. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://lightingforpeople.eu/lighting-in-education/>

Ministerio de Energía. (s.f). Energía 2.0: Energías Renovables. Recuperado en abril de 2016 de: <http://www.energia.gob.cl/energias-renovables>

Photon Star Technology Ltda. (s.f). Circadian Lighting in School. Recuperado en mayo de 2016 de: http://www.photonstartechnology.com/learn/circadian_lighting_in_schools/

Sle Projects. (s.f). Dynamic Light in Schools. Recuperado en mayo de 2016 de: <http://www.sleprojects.com/dynamic-light-in-schools>

Claudia Vergara, arquitecta de proyectos Bticino Chile. Entrevista personal, 6 de mayo de 2016.

Fernando Araya, gerente general Bluenow. Entrevista personal, 6 de mayo de 2016.

Patricia Manns, docente y coordinadora de titulación Pontificia Universidad Católica de Chile. Entrevista personal, 6 de junio de 2016.

Patricio Rojas, área de proyectos Bluenow. Entrevista personal, noviembre de 2016.

ANEXOS

Anexo 1: Fuentes de iluminación artificial con sus especificaciones técnicas.



| No. | Lamp/module type | Lamp/ module output (Power rating, watts) | Luminous flux (lumens, lm) | Luminous efficacy (lumens/watts) | Light colour | Colour rendering Index R _a (in some cases as range) | base |
|--|--|---|--|--|--------------|--|---------------------------------------|
| Linear fluorescent lamps | | | | | | | |
| 1 | Fluorescent lamp Ø 26 mm | 18 – 70 | 870 – 6,200 | 61 – 89 | ww, nw, dw | 85 – 98 | G13 |
| 2 | Fluorescent lamp Ø 16 mm | 14 – 80 | 1,100 – 6,150 | 67 – 104 | ww, nw, dw | 85 – 93 | G5 |
| Compact fluorescent lamps | | | | | | | |
| 3 | 2-tube lamp, elongated design | 16 – 80 | 950 – 6,500 | 67 – 100 | ww, nw, dw | 80 – 93 | 2G11; 2G7 |
| 4 | 1, 2 or 3-tube lamp, compact design | 10 – 42 | 600 – 3,200 | 60 – 75 | ww, nw, dw | 80 – 90 | G23; G24; 2G7; GX24 |
| 5 | Tube lamp with integrated electronic ballast | 8 – 30 | 380 – 2,000 | 48 – 66 | ww | 80 – 90 | E14; E27; B22d |
| Metal halide lamps | | | | | | | |
| 6 | With base at one end, ceramic | 20 – 400 | 1,600 – 41,000 | 80 – 108 | ww, nw | 80 – 85 | G8,5; G12; G22; GU6,5; GU8,5; GY22 |
| 7 | With base at one end, ceramic | 20 – 35 | 1,660 – 3,000 | 75 – 79 | ww | 85 – 90 | PGJ5 |
| 8 | With base at both ends, ceramic | 70 – 150 | 5,100 – 15,000 | 73 – 108 | ww, nw | 75 – 95 | FX7s; FX7s-24 |
| Halogen lamps | | | | | | | |
| 9 | Reflector form | 10 – 100 | 100 – 1,200 | 9 – 18 | ww | 100 | GU4; GU5,3; |
| 10 | Bulb form | 18 – 105 | 170 – 2,000 | 9 – 18 | ww | 100 | E14; E27; B22d |
| High-pressure sodium vapour lamps | | | | | | | |
| 11 | Tube form | 35 – 1,000 | 2,200 – 128,000 | 63 – 145 | ww | 25 | E27; E40 |
| LED-lamps | | | | | | | |
| 12 | Reflector form, mains voltage | 3 – 8 | 200 – 575 | 42 – 86 | ww, nw | 80 – 90 | GU10 |
| 13 | Reflector form, low voltage | 2.8 – 8.5 | 230 – 660 | 50 – 83 | ww, nw | 80 – 90 | GU5,3 |
| 14 | Bulb form | 2 – 18 | 230 – 1,522 | 78 – 117 | ww, nw, dw | ≥ 80 | E14; E27; GU5,3 |
| 15 | LED filament lamp | 2 – 8 | 230 – 806 | 78 – 134 | ww | ≥ 80 | E14; E27 |
| 16 | Tube form Ø 26 mm | 8.7 – 27 | 1,100 – 3,700 | 124 – 126 | ww, nw, dw | 70 – 85 | G13 |
| LED-modules | | | | | | | |
| 17 | Rigid LED module | size-based | size-based | 80 – 150 | ww, nw, dw | > 80 | |
| 18 | Flexible LED module | length-based | length-based | 80 – 120 | ww, nw, dw | > 80 | |
| 19 | Standardized LED module (Zhaga) | 7 – 50 | to approx. 4,000 lm/m 1,100 – 5,000 | 100 – 150 | ww, nw, | > 80 | |
| 20 | Standard LED module | 7 – 50 | 1,100 – 5,000 | 100 – 150 | ww, nw, | > 80 | |

Fuente: FÖRDERGEMEINSCHAFT, LIGHTING WITH ARTIFICIAL LIGHT, 2016.

Anexo 2: Pruebas de medición certificadas.

Las pruebas de medición a considerar para evaluar el rendimiento escolar de los alumnos son instrumentos probados y certificados por el Registro Público de entidades Pedagógicas y Técnicas de Apoyo, quienes además asesoran y capacitan en el procedimiento de aplicación e interpretación de resultados.

Test D2:

En la evaluación psicológica no solamente es útil la aplicación de tests de capacidad general (inteligencia, conocimientos técnicos), sino también la de otros instrumentos que tengan como objetivo la medida de procesos básicos necesarios para tener éxito ante tareas complejas; tales como atención, concentración mental, esfuerzo o control atencional. Y el test d2 pretende medir estos procesos.

Una buena concentración requiere un funcionamiento adecuado de la motivación y control de la atención. Estos dos aspectos, que son aplicados en el test, se reflejan en tres componentes de la conducta atencional:

- ✔ la velocidad o cantidad de trabajo: el número de estímulos que se han procesado en un determinado tiempo
- ✔ la calidad del trabajo: el grado de precisión que está inversamente relacionado con la tasa de errores
- ✔ la relación entre la velocidad y la precisión: lo que permite establecer conclusiones tanto sobre el comportamiento como sobre el grado de actividad, la estabilidad y la consistencia, la fatiga y la eficacia de la inhibición atencional.

El test consiste en 14 líneas con 47 caracteres con las letras “d” y “p”. Dichas letras pueden estar acompañadas de una o dos pequeñas rayas situadas, individualmente o en pareja, en la parte superior o inferior de cada letra.

Nombre: d2, Test de Atención.

Nombre original: Aufmerksamkeits-Belastungs-Test (Test d2).

Autor: Rolf Brickenkamp (1962).

Procedencia: Hogrefe y Huber Publishers, Göttingen, Alemania.

Adaptación española: Nicolás Seisdedos Cubero, I+D+i de TEA Ediciones, S.A.U.

Aplicación: Individual y colectiva.

Ámbito de aplicación: Niños, adolescentes y adultos.

Duración: Variable, entre 8 y 10 minutos, incluidas las instrucciones previas, aunque hay un tiempo limitado de 20 segundos para la ejecución de cada una de las 14 filas del test.

Finalidad: Evaluación de varios aspectos de la atención selectiva y de la concentración.

La tarea del alumno es revisar atentamente, de izquierda a derecha, el contenido de cada línea y marcar toda letra “d” que tenga dos rayas (las dos arriba, las dos abajo o una arriba y otra abajo). Los estímulos correctos (las “d” con dos rayas) se conocen como los elementos relevantes, mientras que las otras combinaciones son los elementos irrelevantes. En cada línea se dispone de 20 segundos para marcar.

En cuanto a la validez, existe un amplio número de investigaciones en las áreas clínicas, psiquiátrica, escolar, vocacional e industrial, así como en el deporte y la conducción de vehículos, que apoyan la validez y aplicaciones de este test, llegando a constituirse como una de las pruebas más relevantes e importantes de la evaluación de la atención en Europa.

Velocidad de lectura:

La evaluación de la velocidad lectora es un indicador que señala cuántas palabras lee un niño en un minuto. Es una prueba que se evalúa en forma individual, en un lugar tranquilo y silencioso.

Esta prueba consiste en que el evaluado lea un texto totalmente desconocido para él, con un índice de legibilidad adecuado para su curso. Se le solicita que lea lo más rápido posible y sin equivocarse durante un minuto.

El evaluador tiene el mismo texto en sus manos con el número de palabras correspondientes. Mien-

Fuente: BRICKENKAMP, R., D2, TEST DE ATENCIÓN (ADAPTACIÓN ESPAÑOLA: NICOLÁS SEISDEDOS), 4TA EDICIÓN. MADRID: 2012.

tras el niño lee, el evaluador marca en una hoja los errores cometidos. Considerando los errores como las palabras mal leídas, omitidas, inventadas, tartamudeadas, etc., y todo lo referente a ortografía puntual que no sea respetado. Al cabo de un minuto se indica al niño que debe detenerse. Al número de palabras leídas se restan las faltas.

Es importante dar a conocer al alumno el resultado obtenido inmediatamente, ya que genera un sentido de superación personal. La velocidad lectora no es evaluada con nota, sólo es una evaluación externa que permite ver la calidad de la lectura de los estudiantes y tomar las medidas y actividades remediales correspondientes a cada caso.

A la derecha se presenta el cuadro estadístico que considera el desempeño adecuado de la velocidad lectora de un estudiante según nivel de enseñanza. La línea de corte permite identificar las categorías de calidad de lectura oral que corresponden a un bajo dominio lector (área sombreada) para cada uno de los cursos.

Evaluación de la memoria:

❑ TEST DE APRENDIZAJE AUDITIVO-VERBAL DE REY (AVLT): Proporciona un análisis del aprendizaje y la capacidad de retención. El test consiste en una lista de 15 palabras que se presenta en 5 ensayos en donde se registra el número de recuerdos que tiene el niño. Mediante este test se puede tener información para conocer el modo y la severidad de los déficit de memoria. La información que se obtiene se encuentra relacionada con (1) memoria inmediata en condiciones de sobrecarga (ensayo 1), (2) nivel de adquisición final (ensayo 5), (3) cantidad de aprendizaje en los 5 ensayos, (4) recuerdo demorado (cantidad de información que es capaz de retener el niño a largo plazo) y reconocimiento (número de palabras que el niño ha aprendido realmente pero que por un problema de evocación no puede decir las aunque las haya retenido).

Tabla de Desempeño de Velocidad Lectora

| Nivel | 1º | 2º | 3º | 4º | 5º | 6º | 7º | 8º |
|------------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Desempeño | | básico | básico | básico | básico | básico | básico | básico |
| Muy Rápida | 56 | 84 | 112 | 140 | 168 | 196 | 214 | 214 |
| Rápida | 47-55 | 74-83 | 100-111 | 125-139 | 150-167 | 178-195 | 194-213 | 194-213 |
| Medio Alta | 38-46 | 64-73 | 88-99 | 111-124 | 136-149 | 161-177 | 174-193 | 174-193 |
| Medio Baja | 29-37 | 54-63 | 76-87 | 97-110 | 120-135 | 143-160 | 154-173 | 154-173 |
| Lenta | 22-28 | 42-53 | 64-75 | 85-96 | 104-119 | 125-142 | 135-153 | 135-153 |
| Muy Lenta | 21 | 42 | 63 | 84 | 103 | 124 | 134 | 134 |

Criterios de logro "Fundar" en calidad de lectura oral.
2º a 8º Básico (Inicio Año Escolar)

| Nivel | 2º | 3º | 4º | 5º | 6º | 7º | 8º |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Categoría | básico | básico | básico | básico | básico | básico | básico |
| No lectores | | | | | | | |
| Lectura Silábica | | | | | | | |
| Lectura Palabra a Palabra | 64-73 | | | | | | |
| Lectura Unidades Cortas | 54-63 | 76-87 | 97-110 | 120-135 | | | |
| Lectura Fluida | 42-53 | 64-75 | 85-96 | 104-119 | 125-142 | 135-153 | 135-153 |

Fuente: MINEDUC.

❑ TEST DE MEMORIA VISUAL (REPRODUCCIÓN VISUAL DE WESCHLER): Esta prueba emplea cuatro dibujos lineales de complejidad creciente. El niño tiene que reproducir cada uno de los cuatro diseños en un papel blanco inmediatamente después de haber sido presentados durante 15 segundos (memoria inmediata) y después de transcurridos 30 minutos (memoria a largo plazo). Cada diseño se puntúa en una escala de 4 puntos, con valores que van de 0 a 3. Cuanto mayor sea la puntuación, más adecuada es la reproducción. Se considera normal una puntuación de 2 o más en cada diseño. Estas puntuaciones directas se expresan en puntuaciones típicas, siendo la puntuación típica media de 7 o superior.

Fuente: CENTRO MÉDICO DABERO, NEUROPSICOLOGÍA.

Test de saliva:

El análisis de DLMO-MELATONINA con la saliva como muestra biológica, permite monitorear de forma no invasiva y fácil los niveles de melatonina en el cuerpo. El DLMO salival es el índice más sensible y directo para identificar el biorritmo de una persona, y con un análisis es posible determinar patrones a lo largo de un ciclo y realizar los ajustes necesarios para evitar trastornos y enfermedades derivadas de la des-sincronización de los ritmos circadiano.

En cualquier caso, a nivel general, se pueden establecer los siguientes formatos como opciones válidas para llegar a detectar defectos en el ritmo circadiano de la melatonina:

- ❑ RCM 03: 20h, 02h, 08h
- ❑ RCM 04: 20h, 02h, 04h, 08h
- ❑ RCM 05: 20h, 23h, 03h, 05h, 08h

Dada la simpleza y facilidad del test, es posible realizarlo en la casa o en cualquier lugar, por lo que es totalmente aplicable para el modelo piloto del sistema de iluminación circadiana, y de esa manera obtener resultados tangibles sobre la disminución de las diferencias hormonales de los alumnos.

Anexo 3: Malla referencial utilizando la planificación biológicamente efectiva para cada grupo de asignaturas.

| MÓDULO | LUNES | MARTES | MIÉRCOLES | JUEVES | VIERNES |
|---------------|-------------|--------------------|-------------|----------------|---------------|
| 8:15 - 9:00 | MATEMÁTICAS | CIENCIAS NATURALES | MATEMÁTICAS | QUÍMICA | MATEMÁTICAS |
| 9:00 - 9:45 | MATEMÁTICAS | CIENCIAS NATURALES | MATEMÁTICAS | QUÍMICA | MATEMÁTICAS |
| 9:45 - 10:00 | recreo | recreo | recreo | recreo | recreo |
| 10:00 - 10:45 | LENGUAJE | MATEMÁTICAS | INGLÉS | HISTORIA | RELIGIÓN |
| 10:45 - 11:30 | LENGUAJE | INGLÉS | INGLÉS | HISTORIA | RELIGIÓN |
| 11:30 - 11:45 | recreo | recreo | recreo | recreo | recreo |
| 11:45 - 12:30 | INGLÉS | HISTORIA | LENGUAJE | INGLÉS | LENGUAJE |
| 12:30 - 13:15 | INGLÉS | HISTORIA | LENGUAJE | INGLÉS | LENGUAJE |
| 13:15 - 14:00 | almuerzo | almuerzo | almuerzo | almuerzo | almuerzo |
| 14:00 - 14:45 | MÚSICA | DEPORTE | ARTE | DEPORTE | INGLÉS |
| 14:45 - 15:30 | MÚSICA | DEPORTE | ARTE | DEPORTE | INGLÉS |
| 15:30 - 15:45 | recreo | recreo | recreo | recreo | recreo |
| 15:45 - 16:30 | ORIENTACIÓN | TECNOLOGÍA | | TUTORÍA/MANUAL | CONSEJO CURSO |
| 16:30 - 17:15 | | TECNOLOGÍA | | | |

CIRCLE tune Kit CCW

Paquete: mando blanco, alimentación bus

Ref. 22185167

Paquete con mando para el control, puesta en servicio y configuración de una instalación DALI, con tres escenas, así como para el control de la luminosidad y la temperatura del color, blanco, con pictogramas neutros: "1", "2", "3", "Luminosidad" y "Temperatura color" para aplicaciones generales, inclusive alimentación de tensión para una línea de control DALI (1 fase DALI).

Aplicación

El paquete de mando DALI Circle está formado por un aparato de mando para pared y una alimentación de tensión EMOTION-BV2.

Se trata de un mando de control para pared del tamaño de un pulsador estándar y se emplea para la puesta en servicio de la instalación DALI completa: facilita una cómoda puesta en servicio de todas las salidas DALI existentes en la sala. Permite configurar como escenas las situaciones luminicas repetitivas para las diferentes actividades en cada una de las salas y, cuando sea preciso, activarlas pulsando un botón. Dispone además de dos teclas basculantes para la eventual modificación de las escenas, así como para regular la luminosidad y la temperatura del color. La reacción es idéntica en todas las luminarias conectadas (modo broadcast).

El diseño moderno y claro del producto aporta un alto grado de individualidad y seguridad en el uso: cada tecla tiene asignada una función concreta. El mando DALI Circle es de plástico en color blanco con superficie satinada. Lleva impresos los símbolos neutros "1", "2", "3" para las aplicaciones generales y los símbolos "Luminosidad" y "Temperatura color" en la tecla basculante.

La alimentación de tensión EMOTION-BV2 se aplica para la alimentación de una línea de control DALI (una fase DALI).

Consejos de planificación

- La alimentación del mando se realiza exclusivamente a través de la línea de control DALI y puede ser conectado a la red.
- Ampliación mediante los mandos CIRCLE tune (máx. 11 unidades adicionales), que tengan todos la misma función.
- Cada fase DALI admite un máximo de un EMOTION-BV2.
- Con un EMOTION-BV2 se puede alimentar hasta 64 consumidores DALI (direcciones de salida) con un consumo total de corriente máximo de 200 mA (máx. 100 cargas DALI). Tenga en cuenta las especificaciones de los fabricantes de los aparatos durante la fase de planificación.
- Para poder utilizar la función de "temperatura del color", las luminarias tienen que ser compatibles con el tipo de aparato DALI 8.
- También es posible operar luminarias DALI estándar, pero solo sin la función de temperatura del color.



Descripción de funcionamiento

Con el mando DALI Circle se puede activar hasta tres escenas para los diferentes usos y actividades a desarrollar en la sala: para ello el usuario sólo tiene que pulsar uno de los tres botones de escenas dispuestos en círculo. La luz verde de un segmento de círculo indica la escena que está activa en ese momento.

Al salir de la sala basta con pulsar la tecla central "Entrar/Salir". El círculo luminoso alrededor a esa tecla está rojo cuando la sala no está ocupada, facilitando la orientación al entrar en ella.

La escena activada puede modificarse cuando se desee: Los interruptores basculantes sirven para regular las luminarias y modificar la temperatura del color.

Otras posibilidades:

3 ambientes por sala:

• Configurar

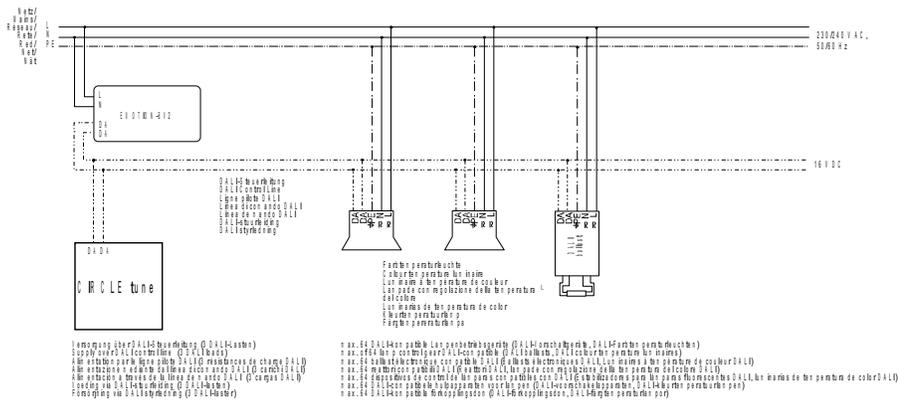
• Guardar: ajustar la situación de iluminación deseada con las teclas de regulación de intensidad y después programarla pulsando la tecla de escena respectiva "1", "2" ó "3".

Mantener pulsada la tecla de escena "1", "2" ó "3" durante 7 seg., y soltarla durante los siguientes 2 seg. con el LED verde intermitente.

Direccionamiento de las salidas DALI:

• Reinicialización (borrado y direccionamiento): mantener pulsada la tecla ENCENDIDO/APAGADO (ON/OFF) durante 30 seg. y después soltar dentro de 2 seg. con LED parpadeante.

Esquema de conexiones

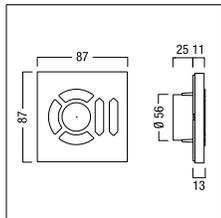


| | | | | | | | | | | | |
|--|--|---|---|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • ex. DALI-C (tune) estándar | <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>1 x 75 mm²</td> <td>1 x 100 mm²</td> </tr> <tr> <td>1 x 75 mm²</td> <td>1 x 150 mm²</td> </tr> <tr> <td>1 x 75 mm²</td> <td>1 x 200 mm²</td> </tr> <tr> <td>1 x 75 mm²</td> <td>1 x 250 mm²</td> </tr> </table> | 1 | 2 | 1 x 75 mm ² | 1 x 100 mm ² | 1 x 75 mm ² | 1 x 150 mm ² | 1 x 75 mm ² | 1 x 200 mm ² | 1 x 75 mm ² | 1 x 250 mm ² |
| 1 | 2 | | | | | | | | | | |
| 1 x 75 mm ² | 1 x 100 mm ² | | | | | | | | | | |
| 1 x 75 mm ² | 1 x 150 mm ² | | | | | | | | | | |
| 1 x 75 mm ² | 1 x 200 mm ² | | | | | | | | | | |
| 1 x 75 mm ² | 1 x 250 mm ² | | | | | | | | | | |

Consejos de montaje e instalación

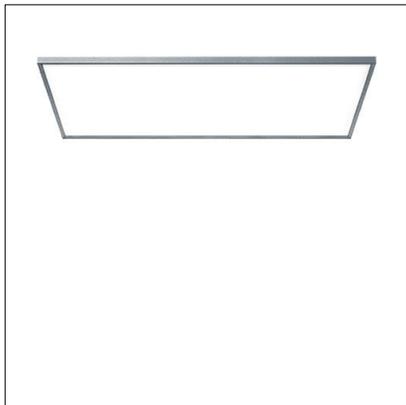
- La alimentación del mando se realiza exclusivamente a través de la línea de control DALI y puede ser conectado a la red.
- Se recomienda emplear material de instalación estándar (2 x 0,75 mm² - 2 x 1,5 mm²).
- Las dos líneas de control DALI son polarizables.
- Limpieza del mando sólo con un paño húmedo o con un paño antiestático.

Dimensión

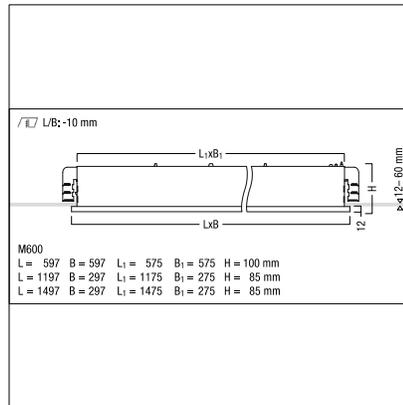


Luminaria de empotrar en techo LED

Modulare Luminaria de empotrar en techo LED con óptica micropiramidal MPO+. Potencia total: 54 W, luminaria esclava para control DALI (DALI only) con convertidor para LED
 DT8 2010 (1 dirección Dali); duración del LED 50000 h hasta una reducción del flujo luminoso al 80 % del valor inicial.
 Tolerancia del lugar del color (initial MacAdam): 4. Flujo luminoso de luminaria: 4900 lm, Rendimiento luminoso de las luminarias: 91 lm/W. reproducción del color Ra > 90, temperatura del color (tunable) 3000-6000 K. La calibración de fábrica permite el uso en cluster con un aspecto homogéneo. Flujo luminoso constante en todo el rango definido para la temperatura del color. orientación de la iluminación a través de la óptica micropiramidal MPO + de varias capas con iluminación de fondo, aspecto de una pieza sin uniones y desacoplamiento definido para lograr una distribución antideslumbrante de la luz con UGR < 19 y L65 < 3000 cd/m², conforme a la norma EN 12464-1; luminancia reducida bajo ángulos pronunciados para un antideslumbramiento de pantallas con una gran inclinación y para una máxima flexibilidad; difusión homogénea de los puntos de luz con LED; módulos LED incl. reflector 3Dprotect® altamente reflectante como protección contra el contacto, para evitar daños por descarga electrostática, cubierta exterior lisa y desmontable de polimetilmetacrilato de alta pureza para un aspecto brillante, menor sensibilidad a la suciedad y mayor facilidad de limpieza; carcasa de la luminaria plana de Chapa de acero lacado; marco de la óptica de aluminio con recubrimiento plata anodizado; Clema de conexión de 5 polos en el interior (con posibilidad de conexión desde el exterior); instalación como luminaria individual o en grupo; para huecos de techo serrados y techos modulares con sistema portante oculto o visible; el juego de fijación debe pedirse por separado; cableado de la luminaria sin halógenos; Módulo: 600; Dimensiones: 597 x 597 x 100 mm, Peso: 9 kg.



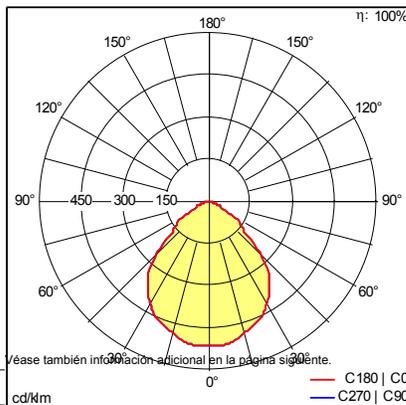
ZS_LFE_F_LED_Einbau_Q.jpg



ZS_LFE_M_EinbauM600.wmf

Distribución de la luz

STD - estándar



- Fuente de luz: LED
- Flujo luminoso de luminaria*: 4900 lm
- Rendimiento luminoso de las luminarias*: 91 lm/W
- Índice de reproducción de los colores mín.: 90
- Balasto: 1 x 89602730 LE TR QLE 241x187mm 4x1500lm 930-960 KIT
- Temperatura de color correlativa*: 3000-6000 Kelvin
- Tolerancia del lugar del color (initial MacAdam)*: 4
- Vida útil nominal media*: 50000h L80 para 25°C
- Potencia de la luminaria*: 54 W Lambda = 0.96
- Control: LDO regulable hasta 10% por DALI
- Categoría de mantenimiento: D - Cerrado IP2X

Anexo 5: Modelos ESCO

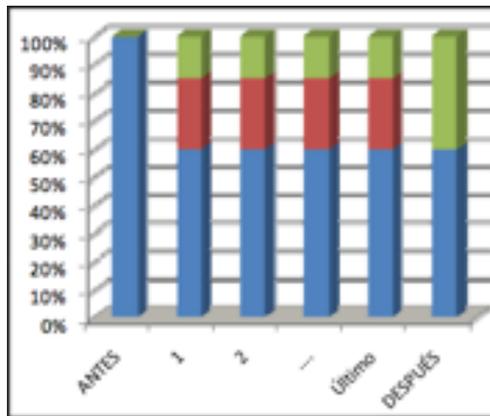
A continuación se detallan los distintos tipos de esquemas para el plan financiero de un proyecto de eficiencia energética:

MODALIDAD DE AHORROS COMPARTIDOS:

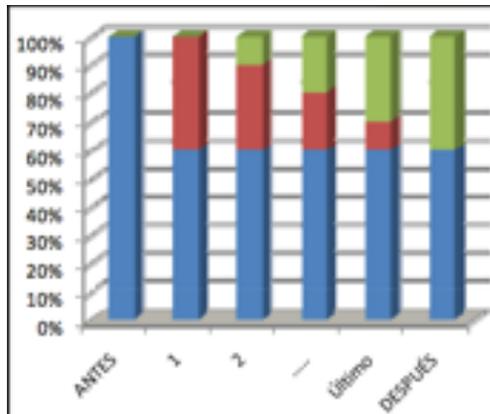
Es la que hemos adelantado en el desarrollo del proyecto, y consiste en que los recursos financieros para costear el proyecto de recambio los aporta la ESCO en su totalidad. De esta manera el riesgo técnico y económico recae en la empresa energética, la que a su vez percibirá durante un período de tiempo fijo, un porcentaje de los ahorros logrados. Este tipo de contrato es el más difundido en el mercado europeo.

Dentro de este esquema existen distintas variantes para el reparto de los ahorros. Primero está la opción de repartos constantes durante toda el período establecido en el contrato. Segundo una alternativa de ahorros crecientes, donde en un principio la totalidad del ahorro lo percibe la ESCO, y luego paulatinamente los ahorros para el cliente aumentan hasta el 100% de ellos. Esta alternativa es la que implica un menor costo financiero para la ESCO, debido a que adelanta los mayores pagos y permite amortizar un posible crédito bancario más temprano. Y por último, está la opción de ceder la totalidad de los ahorros a la ESCO (también llamado contrato *Fast Out*), pero con el beneficio de acortar el período de concesión. De esta manera el cliente queda como dueño de sus instalaciones y del total del ahorro en un menor tiempo.

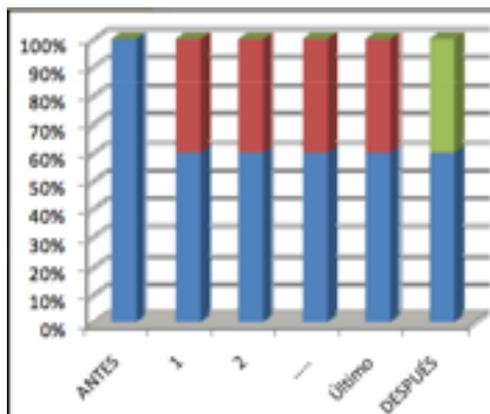
Fuente: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA, 2010.



Reparto de ahorros desde el comienzo del proyecto.

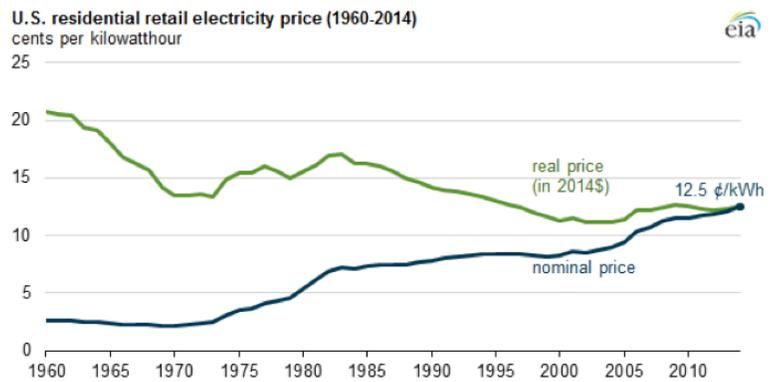


Reparto de ahorros crecientes.



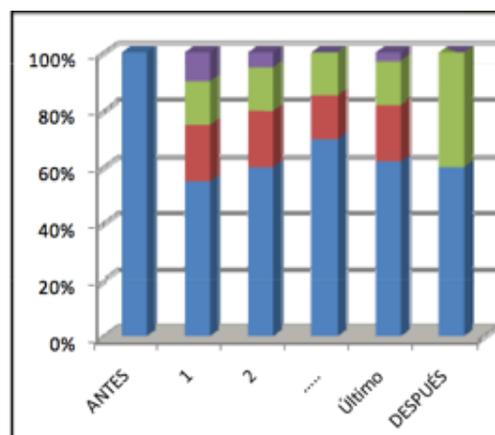
Ahorros íntegros al final del proyecto.

▼ **MODALIDAD DE AHORROS GARANTIZADOS:**
 En esta opción es el cliente quien realiza la inversión y asume el posible riesgo de crédito frente a una institución financiera. Aquí el cliente posee en todo momento las instalaciones, y además percibe la totalidad de los ahorros generados. Además la ESCO garantiza un porcentaje de ahorro de energía para recibir el pago por sus servicios, siempre que el cliente mantenga una serie de condiciones pactadas en el contrato. Es decir, en caso de no lograrse el ahorro, la ESCO responde con sus recursos. Este es el modelo más difundido en Norteamérica (~90%), debido principalmente a que ha habido una tendencia a la disminución en el precio de la energía desde mediados del siglo pasado (para un nivel de precios constante) que ha dificultado captar ahorros económicos suficientes para viabilizar los proyectos. En este esquema se disminuye la dependencia directa del nivel de precios de la electricidad.



Fuente: [HTTP://WWW.EIA.GOV/TODAYINENERGY/DETAIL.PHP?ID=20372](http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=20372)

▼ **MODELOS HÍBRIDOS:** Como era de esperarse, han surgido una serie de modelos mixtos, que combinan los esquemas ya detallados. Esto significa que en algunos casos la inversión es compartida entre el cliente y la ESCO, lo que reparte el riesgo de crédito entre los participantes. También hay variaciones mixtas en términos de la modalidad de pago, es así que se puede tener un esquema que garantice un determinado nivel de ahorro de energía, y también que se repartan los ahorros sobre ese umbral.



Ahorros garantizados y compartidos.
 Fuente: INSTITUTO TECNOLÓGICO DE LA ENERGÍA, 2010.

**Anexo 6:
Cuadros cotización.**

Modelado

Escenario Base

| Cantidad (unidad) | Descripción | Cantidad de lámparas x luminaria (u) | Consumo lámpara (W) | Consumo ballast (w) | Consumo total luminaria (W) | Total consumo item (w) | Horas de uso día (hrs) | Días de uso año (u) | Horas de uso año (hrs) | Total consumo año (KWh) | Valor KWh* (\$) (KWh) | Costo energía año (\$) (KWh) | Costo unitario luminaria (\$) (KWh) | Costo total luminarias (\$) (KWh) |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 6 | LUMINARIA PARA 4 LAMPARAS FLUORESCENTE T8 36W BLANCO FRIO BALLAST INCORPORADO | 4,0 | 36,0 | 28,8 | 172,8 | 1.036,8 | 8,0 | 250,0 | 2.000,0 | 2.073,6 | 110 | 228.096,0 | - | - |
| CONSUMO TOTAL ANUAL (KWh) | | | | | | | | | | | 2.074 | COSTO CONSUMO TOTAL (\$) | COSTO TOTAL LUMINARIAS (\$) | \$ 0 |

Propuesta 1: Tubos LED

| Cantidad (unidad) | Descripción | Cantidad de lámparas x luminaria (u) | Consumo lámpara (W) | Consumo ballast (W) | Consumo total luminaria (W) | Total consumo item (W) | Horas de uso día (hrs) | Días de uso año (u) | Horas de uso año (hrs) | Total consumo año (KWh) | Valor KWh* (\$) (KWh) | Costo energía año (\$) (KWh) | Costo unitario luminaria (\$) (KWh) | Costo total luminarias (\$) (KWh) |
|----------------------------------|--|--------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| 6 | LUMINARIA PARA 8 LAMPARAS TUBO LED T8 18W BLANCO FRIO / BLANCO CALIDO NO REQUIERE EQUIPO ELECTRICIO AUXILIAR | 4 | 18 | 14,4 | 86,4 | 518,4 | 8 | 250 | 2000 | 1.037 | 110 | \$ 114.048 | \$ 98.000 | \$ 588.000 |
| 1 | SISTEMA DE CONTROL 4 RELOJES CONTROL HORARIO CON 4 GOLPES DE ENCENDIDO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | - | 0 | \$ 0 | \$ 250.000 | \$ 250.000 |
| 1 | INSTALACION | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | - | 0 | \$ 0 | \$ 210.000 | \$ 210.000 |
| CONSUMO TOTAL ANUAL (KWh) | | | | | | | | | | | 1.037 | COSTO CONSUMO TOTAL (\$) | COSTO TOTAL LUMINARIAS (\$) | \$ 1.048.000 |

| | | | |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------|
| AHORRO CONSUMO TOTAL (KWh) | 1.037 | AHORRO CONSUMO TOTAL (\$) | \$ 114.048 |
| PAGO DE PIE | 20% | SUBSIDIO MINEDUC/ACHEE | 250.000 |
| | | Payback (años) | 5,2 |

Propuesta 2: Luminaria Inteligente

| Cantidad (unidad) | Descripción | Cantidad de lámparas x luminaria (u) | Consumo lámpara (W) | Consumo ballast (w) | Consumo total luminaria (W) | Total consumo item (w) | Horas de uso día (hrs) | Días de uso año (u) | Horas de uso año (hrs) | Total consumo año (KWh) | Valor KWh* (\$) (KWh) | Costo energía año (\$) (KWh) | Costo unitario luminaria (\$) (KWh) | Costo total luminarias* (\$) (KWh) |
|----------------------------------|---|--------------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| 6 | Luminaria LED con optica microprismal MPO+, Potencia total: 54 W, luminaria esclava para control DALI | 1 | 54 | 0 | 54 | 324 | 8 | 250 | 2000 | 454 | 110 | \$ 49.896 | \$ 560.000 | \$ 3.360.000 |
| 1 | SISTEMA DE CONTROL, CIRCLE tune Kit CCW Paquete: mando blanco, alimentación bus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | - | 0 | \$ 0 | \$ 1.250.000 | \$ 78.125 |
| 1 | INSTALACION | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | - | 0 | \$ 0 | \$ 350.000 | \$ 350.000 |
| CONSUMO TOTAL ANUAL (KWh) | | | | | | | | | | | 454 | COSTO CONSUMO TOTAL (\$) | COSTO TOTAL LUMINARIAS (\$) | \$ 3.788.125 |

| | | | |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------------|-------------------|
| AHORRO CONSUMO TOTAL (KWh) | 1.620 | AHORRO CONSUMO TOTAL (\$) | \$ 178.200 |
| PAGO DE PIE | 20% | SUBSIDIO MINEDUC/ACHEE | 1.000.000 |
| | | Payback (años) | 11,4 |

*Valor ponderado de la tarifa de verano e invierno
**Costo de arifaecto prorrateado en 16 salás

