

## Aprovechamiento de la luz natural en una oficina de la Ciudad de México Use of natural daylight in a Mexico City office

Claudia Ivette Gómez Pérez <sup>a, \*</sup>

<sup>a</sup> Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.

### Resumen

En los últimos años el uso del vidrio como recubrimiento en las fachadas se ha convertido en uno de los predilectos en el sector constructivo. En los edificios corporativos su uso se debe principalmente a la estética que da en el exterior, lo que genera una imagen limpia y sofisticada, además de proporcionar vistas al exterior. Pero cuando las superficies vidriadas son casi del 100% es común que causen problemas de deslumbramiento y sobrecalentamiento al interior, lo que genera incomodidad en los usuarios. Aprovechar la luz natural tiene beneficios en la salud y en la productividad de las personas, para obtenerlo debemos permitir el paso del componente difuso de la luz natural, al interior de las oficinas, lo que se puede lograr y controlar mediante el tipo vidrio. En este estudio se realizó una simulación sobre el comportamiento lumínico en un espacio de oficina, para el que se utilizaron dos vidrios con una transmisión visible distinta, con el fin de analizar con cuál de estos tenemos mayor incidencia lumínica de forma natural.

*Palabras Clave:* Luz natural, vidrios, transmisión, simulaciones, métricas.

### Abstract

In recent years, the use of glass façade in buildings has become one of the preferred ones in the industrial building sector. In corporate buildings its main usage is due the look and appearance provided to the external view of the place which can create a clean visual statement and sophisticated, also views to the outside. However, when glazed surfaces are almost 100% is quite common that can cause glare and over-heating inside, causing user's discomfort. Taking advantage of daylighting helps people be more productive and healthier; inside working areas is necessary to allow the flow of diffuse daylight, factor being solved and controlled through glazing. In this study a simulation of the daylight behavior in an office space was carried out, using two glasses with different visible transmission, in order to analyze with which of these glasses we have more natural light incidence.

*Keywords:* Daylight, glasses, transmission, simulations, metrics.

### 1. Introducción

La luz natural no es un tema nuevo, a lo largo de los últimos años se han hecho muchas investigaciones sobre este tema a nivel internacional, y claro que en el Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura de la UNAM no ha sido la excepción. Se ha investigado desde distintas perspectivas y enfoques, con la finalidad de sumar y conocer más sobre este recurso proveniente de la mayor fuente de energía inagotable que conocemos: el Sol. Es importante que con el conocimiento que se ha adquirido sobre la luz natural se difunda y se haga conciencia de su utilidad, pero, sobre todo, cómo lo podemos aprovechar de una forma más eficiente. En México, tenemos una ubicación geográfica privilegiada, con una incidencia

solar todo el año, lo que no ocurre en muchos países, debido a sus altas o bajas latitudes. Por tal razón deberíamos sacarle mayor ventaja a nuestra área geográfica mediante la incorporación de la iluminación natural al diseño arquitectónico.

Muchos son los factores a considerar en el diseño lumínico natural, pero si ya tenemos el camino trazado hay que seguirlo, es nuestra responsabilidad, como arquitectos y diseñadores, investigar; para esto, hay que conocer y ahondar en los recursos actuales para su correcta aplicación. Cabe destacar que, si los edificios hoy en día se construyen con una envolvente de vidrio, hay que saber elegir el mejor, uno que nos permita el paso controlado de la luz natural, para así evitar molestias visuales en las personas que se encuentran al

\*Autor para la correspondencia: [gomez.ivette.94@gmail.com](mailto:gomez.ivette.94@gmail.com)

Correo electrónico: [gomez.ivette.94@gmail.com](mailto:gomez.ivette.94@gmail.com) (Claudia Ivette Gómez Pérez)

interior. Asimismo, hoy en día existen una variedad de programas para simulación por computadora, los cuales nos han de ayudar a predecir y medir el impacto de la luz natural sobre nuestro edificio, tanto en el exterior como en el interior. Las simulaciones por computadora son muy aproximadas a la realidad, tanto que ya es un método validado ante la comunidad científica.

En este documento se abarcan los temas de luz natural, acristalamiento y simulaciones por computadora, los cuales están relacionados entre sí. Mediante la simulación por computadora se manipulan las propiedades del vidrio, se ingresaron dos valores distintos para la transmitancia, de tal forma que podremos evaluar con cuál de los dos se tiene un mayor aprovechamiento de luz natural. Las simulaciones se realizaron con el programa *Dynamic Daylighting* del Dr. Andrew Marsh, en el cual se cargó el archivo climático de la Ciudad de México de la estación Central.

## 2. La luz natural

La luz natural proviene principalmente del Sol, estrella que se encuentra aproximadamente a 150 millones de kilómetros de la Tierra y que es capaz de emitir luz, además es nuestra principal fuente de energía, asimismo “el sol determina las características esenciales de la luz natural disponible, el largo de los días y sus cambios estacionales, así como los cambios de carácter que ocurren durante el día” (Pattini, 2006, p.5).

La energía que viene del Sol es radiación electromagnética, a esta energía radiada se le conoce como radiación solar, la cual se distribuye en diferentes longitudes de onda, lo que da origen a su clasificación de radiación infrarroja, visible y ultravioleta, ver Figura 1. La radiación infrarroja es la que proporciona calor, la visible es la que conocemos como luz y la única que puede detectar el ojo humano, finalmente, la radiación ultravioleta es la que tiene influencia sobre la salud humana -que para nuestra fortuna es filtrada en su mayoría por la capa de ozono.

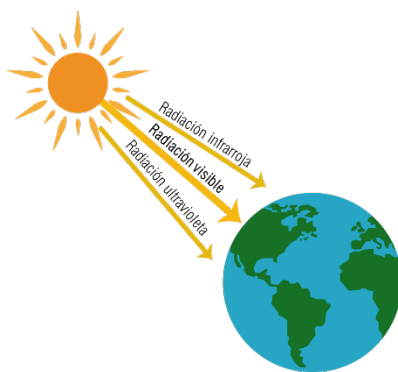


Figura 1: Radiación solar. Elaboración propia.

Como sabemos, la Tierra se mueve entorno al Sol de forma elíptica, lo que da origen a los movimientos de rotación y traslación, los cuales determinan la duración de las horas y de los días, respectivamente. Aunado a estos movimientos, existe la declinación solar, la cual de acuerdo con Iqbal, (1983, p. 6) se define como el ángulo entre una línea que une los centros del Sol y la Tierra con el plano ecuatorial cada día y en cada momento, lo que da como resultado el cambio de estaciones.

La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra es emitida como fotones y llega en todas las direcciones “las longitudes de onda reales presentes en la luz del día variarán a lo largo del día, con las condiciones meteorológicas, con la latitud y con la estación” (Boyce *et al.*, 2003, p.16) la radiación solar se divide básicamente en tres flujos: directo, difuso y global. “A la radiación solar que recibimos directamente desde el disco solar se le da el nombre de radiación directa” (Riveros *et al.*, 2012, p.40), ésta sufre atenuaciones en su trayecto a la superficie de la Tierra, debido a los componentes atmosféricos que intervienen en su recorrido tales como la absorción, dispersión y reflexión. En la radiación difusa influyen procesos de extinción como la absorción, dispersión, refracción y reflexión, las cuales distribuyen la radiación directa para dar paso a la difusa. “Una gran parte de la radiación difusa que llega a la superficie terrestre, es dispersada principalmente por aerosoles y a menor medida por moléculas de aire” (Guadarrama, 2017, p.62), la relación entre la cantidad y el tamaño de los aerosoles será proporcional al flujo de la radiación difusa. Por último, la radiación global es toda la radiación que llega a la Tierra, la cual se mide sobre una superficie horizontal con un ángulo de 180°, es la suma de la radiación directa más la radiación difusa; cada componente que forma la radiación global varía con la altura del Sol, la transparencia de la atmósfera y de la nubosidad.

La nubosidad es un elemento climático que juega un papel muy importante en la distribución de la radiación solar, ya que de acuerdo “al tipo de nube, la extensión de la capa nubosa y la posición de las nubes en la bóveda celeste respecto al Sol, determinan la cantidad de radiación solar y luz natural que recibe un sitio geográfico” (Guadarrama, 2017, p.60). De la ubicación geográfica en donde estemos situados o de donde queramos obtener información es determinante para la radiación solar recibida, ya que ésta es única para cada lugar y momento del día. En este sentido, México se encuentra en el hemisferio norte respecto al Ecuador, atravesado por el Trópico de Cáncer con una latitud de 23°27', la cual cambia en toda la República Mexicana, ya que somos un país con un territorio extenso. No obstante, es gracias a nuestra ubicación que gozamos de una buena incidencia solar todo el año, ya que estamos en una zona intermedia.

Para resumir, la superficie que cubren las nubes, las características de su cubierta y el movimiento del Sol son cruciales para la luz natural, sobre todo porque esto da paso a la clasificación de los tipos de cielo, el cual al ser tan diverso para cada localidad se ha intentado clasificar. Para los estudios sobre la disponibilidad de la luz natural “el cielo puede ser descrito por su distribución de luminancias, lo que permite su utilización en los cálculos y en el análisis de las condiciones del espacio interior” (Chi, 2017, p.32).

La caracterización de las fuentes de iluminación natural ha dado origen a la formulación de modelos de cielo, la IES (*Illuminating Engineering Society*) generó una clasificación básica, compuesta por tres tipos: despejado, parcialmente nublado y nublado. Derivado de esta clasificación básica de la IES, surge la de la CIE (*International Commission on Illumination*), en la cual ya se consideran quince tipos de cielo, donde cinco son para el tipo nublado, cinco para parcialmente nublado y cinco para despejado. En 1991 la CIE creó el Programa Internacional de Medición de la Luz Natural (*International Daylight Measurement Programme-IDMP*), en

dicho programa se plantearon estaciones de medición, bajo la categoría de medición básica, general y de investigación. Años después, en 1993, Perez, Seals y Michalsky crean el modelo de cielo *All-Weather*, el cual parte de modelos de “conversión de la irradiancia (E) en iluminancia (Ev), consiguiendo de este modo, caracterizar lumínicamente cualquier condición de cielo que tiene lugar a lo largo del año. Este modelo de cielo fue aprobado por la CIE en 2003 bajo la denominación de Cielo General Estándar CIE (*CIE Standard General Sky*)” (Esquivias, 2017, p.72).

El modelo de cielo *All-Weather* “ha demostrado ser fiable y preciso para la obtención de la distribución de luminancias del cielo para cada momento del año registrado en el archivo climático. Es, por tanto, el modelo que más se acerca a la realidad local.” (Chi, 2017, p. 35). El modelo *All-Weather* al ser fiable y preciso se puede usar para las simulaciones por computadora, si se lleva a cabo una Modelación Climática de la Luz Natural (*Climate Based Daylight Modelling-CBDM*), en la cual ahondaremos más adelante.

Reanudando el tema de la luz natural, podemos decir que éste es un recurso natural inagotable, ya que proviene principalmente del Sol. Como se mencionó anteriormente, México se encuentra en una posición privilegiada respecto a otros países, pero “a pesar de que México tiene un territorio 5.5 veces mayor que Alemania y una radiación 5.0 veces superior, la energía solar generada en el país europeo es 44.2 veces superior” (Tecnoenergía, 2018). Por lo anterior, al tener una ubicación excepcional el resultado es que gozamos de buena incidencia solar, razón por la que estamos obligados no sólo a conocer el recurso, sino que buscar la forma de aprovecharlo al máximo.

El ser humano pasa la mayor parte del tiempo en un espacio interior, por tanto, es conveniente aprovechar la luz natural en los espacios interiores. Consideremos que “la luz natural representa un caudal potencial, que será aprovechado siempre y cuando el edificio cuente con los recursos necesarios y la sustitución de luz eléctrica por luz natural sea realizada” (Assaf, 2006), asimismo Assaf hace hincapié en reconocer y diferenciar entre el aprovechamiento potencial y el real. En el primero, interviene la cantidad de luz natural disponible del sitio de interés; así como los factores geográficos y climáticos, además de la cantidad de luz natural admitida al interior, lo cual depende del entorno, la orientación y la forma de las aberturas. Mientras que, en el segundo, intervienen factores como la iluminación artificial y el control de la misma por parte de los usuarios, quienes determinan las horas que quieren y/o pueden aprovechar la entrada de luz natural en el interior de sus espacios.

No obstante, la cantidad de luz natural que dejemos pasar al interior debe ser medida y controlada, para evitar incomodidad visual a las personas. Zambrano y Prado, (2016) plantean que para que la luz entre al espacio interior dependerá de tres factores externos, que son la luz directa que proviene del Sol, la luz difusa derivada del cielo y la luz de las reflexiones de elementos externos del edificio. Por otro lado, Fernández (2006) plantea tres objetivos para aprovechar la luz natural, el primero es proporcionar la cantidad de luz necesaria para llevar a cabo una tarea específica de manera cómoda; el segundo, es crear un ambiente particular en el interior de un edificio a través del juego de luces y sombras; y tercero, ahorrar energía. Cabe destacar que el ahorro de energía es un rubro indispensable hoy en día, debido a la crisis climática en

la que vivimos. Si diseñamos edificios que aprovechen la luz natural estaríamos reduciendo el consumo energético de éste, lo que beneficia al medio ambiente, además de ser puntos a favor si queremos que nuestro edificio obtenga una certificación de tipo Leed o Well.

### 3. Acristalamiento

Desde hace años, los edificios de gran altura han dominado en las ciudades y el material predilecto para las fachadas ha sido el vidrio, el cual se usa porque es un material fácil de manejar, representa rapidez, flexibilidad y ligereza al momento de construir. En la envolvente de los edificios se debe buscar el equilibrio entre sonido, iluminación, ventilación y vistas; lo anterior se puede lograr a través del uso del vidrio, sin embargo, esto “conlleva el riesgo de incrementar las cargas térmicas y de refrigeración” (Poirazis *et al.*, 2008). Ahora bien, si queremos lograr un aislamiento equilibrado Olgyay (1998, p.118) menciona que la forma más eficaz para reducir el flujo de calor es a través de las propiedades aislantes del material. La cantidad de aislamiento deseada se encuentra en relación directa con la diferencia que existe entre las condiciones térmicas exteriores y los requerimientos de control.

El componente principal de una envolvente es la ventana, la cual juega un papel fundamental en el aprovechamiento de la luz natural, debido a que en edificaciones más pequeñas es el medio por el cual se ventila e ilumina de forma natural un espacio. La cantidad de luz que queremos que entre al interior se puede controlar a través de la ventana o del acristalamiento, ya que “la luz natural está indisolublemente ligada a las ventanas y aberturas dentro de la envoltura exterior de un edificio, las dos no pueden no separarse con los enfoques típicos de diseño” (Boubekri, 2008, p.96). Al momento de diseñar, debemos considerar las dimensiones de la ventana o del acristalamiento, ya que no pueden ser ni muy grandes, ni muy pequeñas, porque si son muy grandes habrá deslumbramiento y si son pequeñas tendremos poca entrada de luz; ambas resultan molestas para las personas.

De acuerdo con el IDAE (2005, p. 48) el acristalamiento puede clasificarse dependiendo de la relación que tenga entre la superficie de la ventana y las superficies interiores del local, considerando paredes, techos y pisos, las cuales pueden clasificarse como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Porcentajes de acristalamiento. Elaboración propia con información de IDAE (2005).

Nivel	Porcentaje
Muy bajo	1%
Bajo	1-4%
Medio	4-10%
Elevado	10-25%
Muy alto	+25%

Cuando trabajamos con el vidrio como material de recubrimiento, debemos conocer las características de este material para determinar cuál es el que más nos conviene. Si nuestro objetivo es aprovechar la luz natural, debemos centrarnos principalmente en su comportamiento ante la luminosidad y la energía solar; para conocer estos valores hay que revisar las fichas técnicas que proporcionan las empresas

vidrieras. De acuerdo con la empresa multinacional *Saint-Gobain* los diversos componentes de un vidrio pueden hacer referencia a sus propiedades lumínicas, energéticas, a su exposición ante la radiación ultravioleta, a la protección solar y al aislamiento térmico. Los componentes que comúnmente aparecen en una ficha técnica -o al menos en las de *Saint-Gobain*- se describen a continuación:

- Transmisión de luz (TL): es el porcentaje de luz visible que pasa a través del vidrio. Es el parámetro que maximiza la luz solar que entra a los espacios.
- Reflexión de luz (RL): se divide en exterior e interior, la primera (RL<sub>e</sub>) es el porcentaje de luz visible reflejada hacia el exterior; la segunda (RL<sub>i</sub>) es el porcentaje de luz visible reflejada hacia el interior.
- Factor solar (g): es la energía solar total que pasa al interior. A menor valor, mayor eficacia de control solar.
- Coeficiente de sombra (SC): es la protección solar referida a un vidrio incoloro de 3mm (g=0.88).
- Transmitancia térmica (Valor U): cantidad de calor transmitida a través del vidrio de acuerdo con la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Cuanto menor sea su valor, mayor aislamiento térmico (W/m<sup>2</sup>K).
- Selectividad: relación entre la transmisión de luz y el factor solar.

De los componentes enlistados previamente, cuando se trata de aprovechar la luz natural debemos poner mayor atención a la transmisión de luz y al factor solar, porque con estas magnitudes equilibradas podríamos evitar el sobrecalentamiento y deslumbramiento. De tal forma que el “acristalamiento permite la máxima transmisión de luz con una baja transmisión de calor radiante solar con el mínimo factor solar posible” (IDAE, 2005, p. 66).

El objetivo de este trabajo es poder aprovechar la luz natural a través de los vidrios, por consiguiente, se analizará la transmisión de luz de dos vidrios diferentes. Los valores de los vidrios se recuperan de las fichas técnicas de la vidriera *Saint-Gobain*, tomando en cuenta su línea *Cool-Lite Xtreme* con los modelos Xtreme 60/28 y Xtreme 70/33; los cuales tienen una transmisión del 59% y 68% respectivamente.

Parte fundamental de conocer las prestaciones de los vidrios es porque podemos controlar a través de estos la incidencia de luz natural que entra a un espacio, con la finalidad de lograr un balance. Mantener niveles óptimos de luz natural al interior de un espacio, es necesario para un “funcionamiento saludable, pero estos niveles no se alcanzan dentro de nuestros edificios si dependemos únicamente de la iluminación eléctrica” (Boubekri, 2008, p.84). Al hablar de los niveles óptimos de iluminación, hacemos referencia al confort visual, el cual Carlucci *et al.*, (2015, p.1018) menciona que con base en la norma europea EN 12665 se define como “una condición subjetiva del bienestar visual inducida por la visual ambiental”. Asimismo, el bienestar visual dependerá de tres factores principales, el primero será de la fisiología del ojo humano; el segundo de la cantidad física que describe la cantidad de luz y su distribución en el espacio; y el tercero de la emisión espectral del recurso lumínico. Al mantener los niveles lumínicos adecuados podemos desempeñar cualquier actividad de forma eficiente y armoniosa, además de mejorar el rendimiento y productividad.

Por último, un vano debe ser diseñado para que sus medidas sean óptimas y vayan de acuerdo con la dimensión del espacio. Cuando la superficie vidriada sea mayor al 50% del vano, habrá que poner mayor atención a la hora de seleccionar el vidrio. En el mercado hay miles de productos, de distintas vidrieras, distintas marcas y precios, pero es aquí cuando hay que recordar que lo más barato no siempre será la mejor opción. Con el tiempo el haber invertido en un buen vidrio tendrá beneficios para el medio ambiente y las personas, y no sólo esto, sino que habrá un beneficio económico al reducir el uso de sistemas artificiales como la luz y la calefacción.

#### 4. Simulaciones por computadora

En lo anteriormente expuesto, se hablaba del ahorro de energía a través del aprovechamiento y uso de la luz natural en los edificios, lo que resulta importante si queremos que nuestro edificio obtenga una certificación. Para las certificaciones ya sea de tipo Leed o Well -por mencionar algunas- nos piden comprobar la entrada de luz natural, lo que se logra mediante las simulaciones por computadora. Grosso modo se puede decir que en la certificación Leed se evalúa la calidad de la iluminación natural a través de las métricas de la luz natural del *Spatial Daylight Autonomy* (sDA) y el *Annual Sunlight Exposure* (ASE), si se demuestra que se cumple con al menos un 75% de la superficie con niveles lumínicos en un rango de 300 y 3000 lux se otorgan 2 puntos en la evaluación. Por otro lado, en la certificación Well la puntuación es distinta, ya que, en esta se evalúa el diseño de la iluminación circadiana, el control de deslumbramiento y finalmente el acceso mejorado a la luz natural; para cada rubro donde interviene la luz natural se dan 3 puntos, logrando un máximo de 9 puntos. Ambas certificaciones buscan que se alcancen los 300 lux en un rango del 55%-90% de las superficies ocupadas durante el 50% de las horas de ocupación del proyecto, en un horario regular que va de las 8:00 a las 18:00 h.

Mardaljevic (2013, como se citó en Esquivias, 2017) dice que se entiende como simulación de iluminación natural a un cálculo computarizado que permite predecir la cantidad de luz natural que entra en un edificio, ya sea considerando sólo determinadas condiciones de cielo (simulaciones estáticas), o considerando las condiciones de Sol y cielo que se derivan de bases de datos meteorológicas estandarizadas (simulaciones basadas en el clima). Cabe señalar que en la primera parte del documento se mencionó el CBDM, haciendo referencia al modelado de la luz natural basado en el clima; la información climática se obtiene de un archivo climático -valga la redundancia- en formato epw (*Energy Plus Weather Format*). Los archivos epw son dominio de *Energy Plus* y cuenta con datos meteorológicos de más de 2100 localidades, los cuales están ordenados por regiones y países, con base en la Organización Meteorológica Mundial (OMM), los archivos se pueden descargar de forma gratuita desde el sitio web de *Energy Plus*.

La información del archivo climático corresponde a un año típico meteorológico TMY (*Typical Meteorological Year*), el cual se define como “el conjunto de mediciones horarias reales para los parámetros climáticos, como temperatura de bulbo seco, radiación global, difusa y normal directa, velocidad del viento, etc. Estos datos son recopilados durante un mínimo de doce años” (Chi, 2021, p.235).

Hacer simulaciones sobre la luz natural resulta más complejo que la artificial debido a la variabilidad de la luz natural, no obstante, Bodart *et al.*, (2016) dicen que “el principio es idéntico en ambos casos: a partir de datos meteorológicos, se modela el cielo para cada hora del año y la métrica requerida puede ser entonces calculada o medida en una maqueta”. Para poder simular con luz natural, debemos tener la información del edificio y las condiciones prevaletentes de los cielos, o bien, tener nuestro archivo climático más reciente de la región de nuestro interés para poder cargarlo a la simulación.

Gracias a la simulación podemos evaluar la luz natural, a través de las métricas de la luz natural, las cuales se han simplificado a medida que las investigaciones sobre el tema avanzan. Es así como Chi (2019) hizo una revisión de la literatura entorno a las DDM (*Dynamic Daylight Metrics*) más utilizadas a nivel internacional, las cuales se sintetizan y explican a continuación.

- DA (*Daylight Autonomy*). Es el porcentaje de horas ocupadas al año, cuando un mínimo de iluminancia puede ser mantenido solo por luz natural.
- SDA (*Spatial Daylight Autonomy*). Es el porcentaje del área de estudio que alcanza un mínimo de iluminación natural por una fracción de las horas de ocupación anual.
- UDI (*Useful Daylight Illuminance*). Es el porcentaje de horas ocupadas cuando los niveles de iluminación natural sobre el plano de trabajo son consideradas útiles para los ocupantes, es decir, ni muy oscuros ni muy brillantes.

De las tres métricas mencionadas, el UDI es con la que se decidió trabajar para este estudio, debido a que considera las horas útiles de ocupación de un espacio. Del UDI resulta una subdivisión para las iluminancias, clasificándose en bajo, suplementario, autónomo y excesivo; lo ideal sería cumplir con los niveles del UDI autónomo, ya que con eso no se requiere del uso de iluminación artificial. Los niveles de iluminancia son los siguientes:

- Bajo (UDI-f): iluminancia menor que 100 lux.
- Suplementario (UDI-s): iluminancia mayor de 100 lux y menor de 300 lux.
- Autónomo (UDI-a): iluminancia mayor de 300 lux y menor de 3000 lux.
- Excesivo (UDI-e): iluminancia mayor de 3000 lux.

## 5. Metodología

El trabajo de investigación se ha desarrollado mediante una ruta cuantitativa, con un método experimental y dos técnicas que son el caso de estudio y la simulación por computadora. La primera técnica se utiliza porque Chávez (2015, p.141,142) menciona que cuando se trata de proyectos arquitectónicos debemos tener en cuenta el contexto de nuestro caso de estudio y él considera que la iluminación natural es uno de los parámetros que se pueden realizar en un estudio de casos, ya que se puede abordar desde distintos aspectos, como el mecánico y funcional, o bien, desde el valor poético, simbólico, emotivo y metafísico. Por lo anterior, se tomó como caso de estudio un espacio de oficina de Torre Esmeralda I (ver Figura 2), ubicada en la colonia Lomas de Chapultepec en la Ciudad de México.

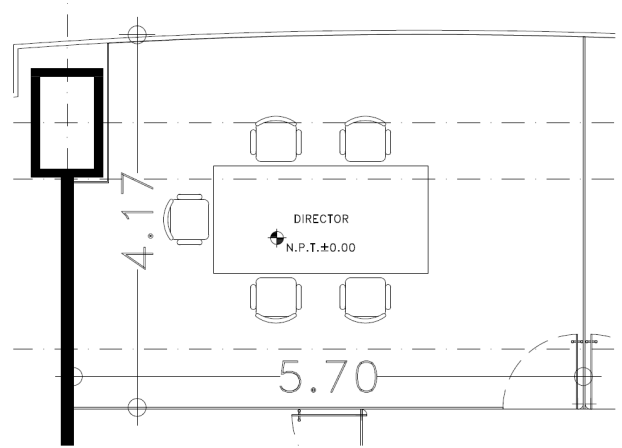


Figura 2: Oficina de caso de estudio. Autoría propia.

Ahora bien, la otra técnica es la simulación por computadora, para poder utilizar esta técnica era necesario tener un caso de estudio para llevar a cabo el levantamiento 3D. Como se ha mencionado anteriormente, las simulaciones son muy cercanas a la realidad y existen diferentes programas para hacerlas posible; para este trabajo se utilizó el simulador *Dynamic Daylighting (DD)* del Dr. Andrew Marsh. Y cabe mencionar que el Dr. Andrew Marsh estudió arquitectura y se ha enfocado en la simulación de edificios, asimismo ha desarrollado programas como Ecotect, del cual es el autor original. En el sitio web del Dr. Andrew Marsh se encuentran diversos recursos (ver Figura 3) para el tema de iluminación, tal es el caso de *Dynamic Daylighting*. Con DD puedes hacer el levantamiento 3D de un espacio, agregar las ventanas y controlar el porcentaje de transmitancia del vidrio, que recordemos que para este trabajo se analizan dos vidrios de la serie *Cool-Lite Xtreme* de la marca *Saint-Gobain*.

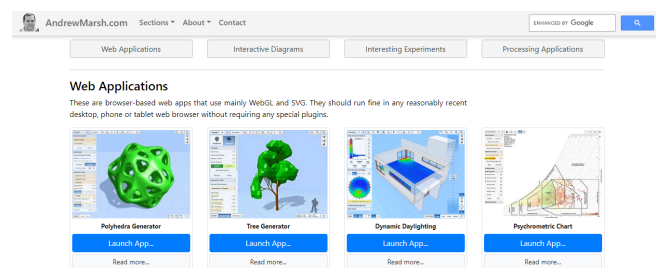


Figura 3: Recursos disponibles del Dr. Andrew Marsh. Recuperado del sitio web: <http://andrewmarsh.com/software/>

El simulador *Dynamic Daylighting* puede analizar la luz natural en tiempo real dentro de una habitación rectangular; los parámetros de ingreso como el tamaño de la habitación, las ventanas, elementos de protección solar externos y la altura del plano de trabajo se pueden manipular de forma manual. Asimismo, este simulador trabaja con el modelo CBDM, por lo que se cargó el epw de la estación Central de la Ciudad de México, ya que es la estación más cercana al caso de estudio. En la Figura 4 se puede ver la proyección estereográfica obtenida a partir del epw desde el simulador DD.



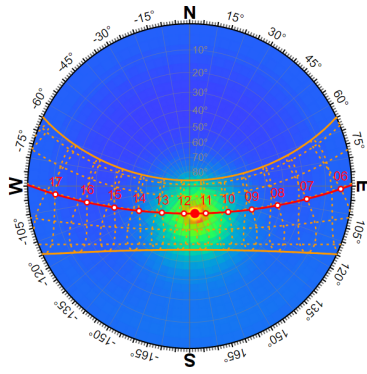


Figura 4: Proyección estereográfica de la estación Central de la Ciudad de México. Recuperado de: *Dynamic Daylighting*.

Para el método de cálculo, *Dynamic Daylighting*, se sometió a una extensa validación de los motores *RADIANCE* y *DAYSIM*, por lo que los resultados pueden ser exportados para estas interfaces. El motor de cálculo *Radiance*, es capaz de simular tanto luz natural como artificial, a pesar de que “en comparación con otros paquetes de *software* similares, *RADIANCE* tiene muchas características “no atractivas”. Por ejemplo, carece de una interfaz de usuario propia y necesita una experiencia considerable para manipular sus variables. No obstante, sigue siendo el preferido por la comunidad de investigadores de la iluminación” (Reinhart & Fitz, 2006). Si bien, *Dynamic Daylighting* no ha implementado en su totalidad *RADIANCE* es porque los resultados difieren ligeramente, sin embargo, resulta una herramienta muy útil para la obtención de datos.

Resumiendo, los temas ya expuestos se van ligando entre sí, razón por la que es un trabajo de investigación de tipo cuantitativo, ya que lleva un procedimiento lineal. También en la ruta cuantitativa “se derivan objetivos y preguntas de investigación, se revisa la literatura y se construye un marco o una perspectiva teórica” (Hernández *et al.*, 2014, p.4, 5). A continuación, se procede a presentar los resultados de la simulación, donde ya se conjuntan las técnicas expuestas en este documento. Cabe destacar que cuando se realizan simulaciones lumínicas se deben hacer para los solsticios y los equinoccios, que son las siguientes fechas:

- Equinoccio de primavera: 20 marzo (ver Figura 5).
- Solsticio de verano: 21 junio ver Figura 6).
- Equinoccio de otoño: 23 septiembre (ver Figura 7).
- Solsticio de invierno: 21 diciembre (ver Figura 8).

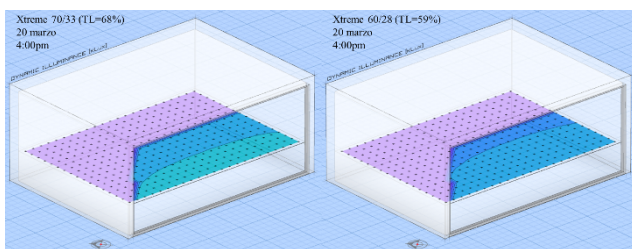


Figura 5: Entrada de luz en el equinoccio de primavera.

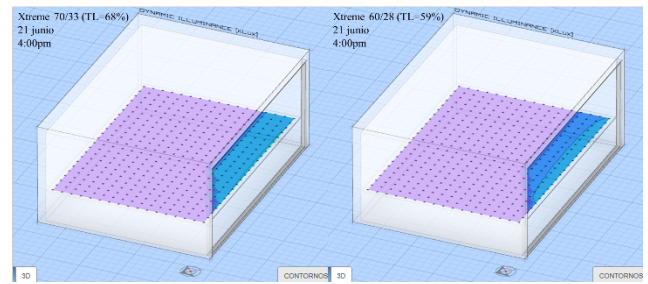


Figura 6: Entrada de luz en el solsticio de verano.

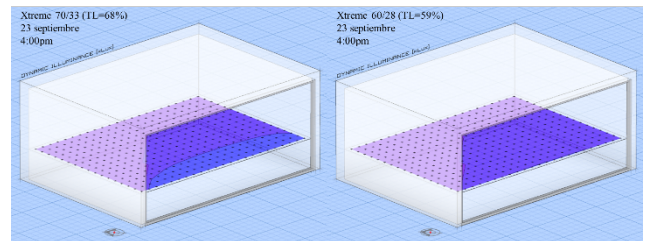


Figura 7: Entrada de luz en el equinoccio de otoño.

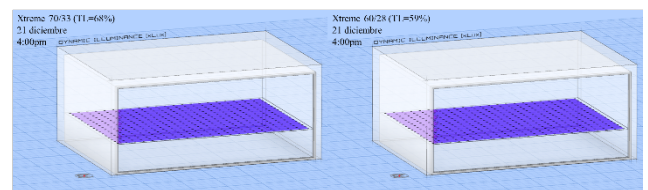


Figura 8: Entrada de luz en el solsticio de invierno.

El modelo *Xtreme 70/33* es el vidrio que mejor aprovecha la luz natural, claro que se debe a su alto porcentaje de transmisión de luz; no obstante, distribuye de manera más uniforme la luz en todo el año. De las figuras 5 a la 8, se aprecia la entrada de luz natural a la oficina, cada figura está orientada en la dirección del sol, razón por la que la perspectiva cambia.

## 6. Discusión

Al momento de seleccionar el vidrio debemos llevar a cabo distintos análisis, pues por un lado puede tener un alto porcentaje de transmisión de luz, pero por el otro permite el paso de calor; es por eso que debe existir un balance entre la transmisión de luz y el factor solar. Con lo anteriormente expuesto, el vidrio que tuvo una mejor respuesta de distribución uniforme al interior fue el modelo *Xtreme 70/33*; pero esto no garantiza niveles lumínicos óptimos, ya que, de acuerdo con el rango del UDI, en promedio maneja niveles excesivos, al superar los 3000 lux (ver Figura 9).

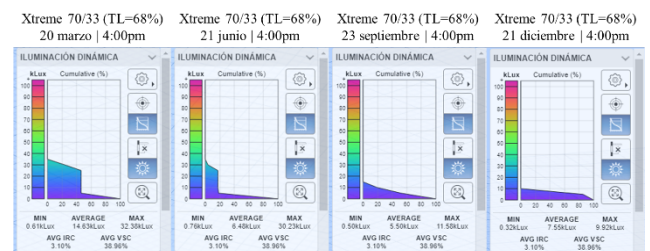


Figura 9: Niveles de iluminancia.

Si la iluminancia es excesiva y lo que queremos es que el espacio se ilumine de manera natural y autónoma -usando lo menos posible la iluminación artificial- entonces debemos

pensar en usar otro tipo de vidrio, o bien, integrar elementos de protección solar diseñados.

Por otro lado, es importante considerar que esta simulación se realizó libre de obstrucciones, sin un contexto urbano, derivado de la ubicación del caso de estudio. La oficina analizada se encuentra en un doceavo piso, los edificios colindantes son de menor altura, por lo que no afectan en la incidencia de luz. Sin embargo, si se analizara otro nivel de este edificio o la fachada principal, las circunstancias urbanas serían muy distintas, al igual que la incidencia solar.

## 7. Conclusiones

La luz natural es un recurso que como arquitectos deberíamos saber usar de forma correcta, es un recurso inagotable y que desde hace miles de años se ha hecho uso de ella, civilizaciones antiguas honraban y veneraban al Sol como un Dios, hoy en día nos parece un recurso casi insignificante. Debido al avance tecnológico, hemos olvidado su valor, pero ambos pueden relacionarse y brindar mejores soluciones, la naturaleza y la tecnología pueden coexistir para una vida mejor. Como arquitectos damos las mejores soluciones, no demos ningún recurso natural por hecho, volvamos a incluirlos como principio básico de diseño, ya que es un beneficio para la salud ambiental y humana. Con el avance tecnológico tenemos mayores recursos, así como más opciones en cuanto a programas; tal es el caso de DD, con el que se llevó a cabo la simulación lumínica de este trabajo. DD es un programa intuitivo y fácil de manipular, con el que podemos obtener de forma rápida mucha información antes de empezar a diseñar y también durante el proceso. Aunado a lo anterior, es un recurso gratuito, lo menciono porque muchas veces nos casamos con los programas de renombre y algunas veces son muy costosos, por lo que es bueno voltear a ver los que tienen un respaldo científico y que están disponibles, como todos los programas del Dr. Andrew Marsh.

Si los seres humanos pasamos la mayor parte de nuestro tiempo en espacios interiores, debemos estar en un estado de comodidad, permanecer en lugares que nos hagan sentir bien y que nos motiven a realizar cada una de nuestras actividades. En cuanto a las tendencias en la industria de la construcción, si seguirá siendo el vidrio el favorito para el recubrimiento de fachadas, hagamos un uso más consciente y selectivo; como bien se expuso en este documento, lo podemos lograr mediante las simulaciones. No veamos las simulaciones sólo como un requisito para obtener una certificación, sino como una forma de representación del proyecto, para contribuir al bienestar ambiental; además de que éstas nos ayudan a disminuir los tiempos de prueba. Hemos sido parte del deterioro del medio ambiente, pero también, podemos ser parte de la solución, unamos esfuerzos y saquemos provecho de la tecnología que tenemos, diseñemos un todo y pensemos de manera global.

Finalmente, como parte de mis estudios de posgrado, estoy analizando los vidrios de la serie *Cool-Lite Xtreme* y *Cool-Lite SKN*, ambos de la empresa *Saint-Gobain*. Este análisis ya corresponde a un nivel de oficinas completo, no sólo de la oficina general como se presenta en este trabajo, las simulaciones se están realizando con otro programa, por lo que los resultados a los que se llegue será interesante contrastarlos con los presentados en este trabajo.

## 8. Abreviaciones y Acrónimos

ASE (Annual Sunlight Exposure)  
 CBDM (Climate Based Daylight Modelling)  
 CIE (International Commission on Illumination)  
 DA (Daylight Autonomy)  
 DD (Dynamic Daylighting)  
 DDM (Dynamic Daylight Metrics)  
 epw (Energy Plus Weather Format)  
 IES (Illuminating Engineering Society)  
 OMM (Organización Meteorológica Mundial)  
 sDA (Spatial Daylight Autonomy)  
 TMY (Typical Meteorological Year)  
 UDI (Useful Daylight Illuminance)

## Agradecimientos

Al Dr. Carlos Alfredo Bigurra Alzati por la divulgación y oportunidad que nos dio para la publicación de este trabajo. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo brindado para la realización de mis estudios de posgrado. A la Dra. Cecilia Guadarrama por compartir su pasión por la luz natural.

## Referencias

- Bodart, M.; Bustamante, W. y Encinas, F. (2006). Iluminación natural de edificios de oficina. *ARQ*, 76, 44-49.
- Boubekri, Mohamed. (2008). *Daylighting, Architecture and Health. Building design strategies*. Architectural Press.
- Boyce, P., Hunter, C., & Howlett, O. (2003). *The benefits of daylight through windows*. U.S. Department of Energy.
- Carlucci, S.; Francesco C.; De Rosa, F. y Pagliano, L. (2015). A review of indices for assessing visual comfort with a view to their use in optimization processes to support building integrated design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 47, 1016-1033.
- Chávez, J. D. (2015). *La investigación en los campos de la arquitectura*. Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional de Colombia.
- Chi, D. A. (2017). *Iluminación natural a través de protecciones solares perforadas en fachadas acristaladas: criterios de diseño* [tesis de doctorado, Universidad de Sevilla]. Escuela Internacional de Doctorado (eidUS).
- Chi, D. A. (2019). Revisión de índices para la evaluación de la iluminación natural en espacios interiores. *Entorno UDLAP*, núm.8, 4-13.
- Chi, D. A. (2021). *Iluminación natural a través de ventanas. Criterios de diseño para climas en México* (1ª ed.). Universidad de las Américas Puebla.
- Esquivias, P. (2017). *Iluminación natural diseñada a través de la arquitectura: análisis lumínico y térmico en base climática de estrategias arquitectónicas de iluminación natural* [tesis de doctorado, Universidad de Sevilla]. Depósito de Investigación Universidad de Sevilla (idUS).
- Fernández, A. (2006). Uso de programas informáticos para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios, mediante una adecuada elección del acristalamiento de vidrio. *Grupo Energía, Edificación y Patrimonio*, 1-16.
- Guadarrama, C. (2017). *Luz natural en la arquitectura. Aportaciones científicas, tecnológicas y de diseño* [tesis de doctorado, UNAM]. TESIUNAM.
- Hernández, R. S., Collado, C. F., Lucio, P. B., Valencia, S. M., y Torres, C. P. M. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª ed.). McGraw-Hill.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía (IDAE), Comité Español de Iluminación (CEI) & Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España (CSAE). (2005). *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*. IDAE.
- Iqbal, Muhammad (1983). *An introduction to Solar Radiation*. Ontario: Academic Press.
- Marsh, A. (2019). *Dynamic Daylighting (2.0.0)* [Software de luz diurna dinámica]. <http://andrewmarsh.com/software/daylight-box-web/>

- Olgay, Victor. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. (15ª ed). Gustavo Gili.
- Pattini, A. (2006). *Luz natural e iluminación de interiores*. En E. Argentina, Manual de iluminación eficiente (págs. 2-24). Buenos Aires. Obtenido de edUTecNe:<http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/eli.html#libro>
- Poirazis, H.; Blomsterberg, A. y Wall, M. (2008). Energy simulations for glazed office buildings in Sweden. *Energy and Buildings*, 40, 1161-1170.
- Reinhart, C., y Fitz, A. (2006). Findings from a survey on the current use of daylight simulations in building design. *Energy and Buildings*, 38(7), 824–835. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.012>
- Riveros, D., Valdés, M., y Arancibia, C. A. (2012). *La radiación solar*. Terracota.
- Saint-Gobain. (s. f.). Selección de vidrio - Características Técnicas – Valores técnicos gama COOL-LITE. Recuperado 18 de enero de 2022, de <https://es.saint-gobain-building-glass.com/es/asesoramiento-tecnico-caracteristicas-tecnicas-gama-de-control-solar-cool-lite>
- Tecnoenergía. (2018, 12 septiembre). Radiación Solar en México; somos privilegiados. Tecnoenergía. Recuperado 18 de enero de 2022, de <https://www.tecnoenergia.mx/radiacion-solar-en-mexico-somos-privilegiados/>
- Zambrano, P. L., y Prado, L. R. (2016). Simulación de iluminación natural en oficinas; implicaciones para la eficiencia visual. *Estoa*, 8(5), 59–71. <https://doi.org/10.18537/est.v005.n008.0659>