



# Enseñanza de dimensionamiento lumínico natural en latitud cero: El caso de la ciudad de Quito

**Natural illumination teaching on latitude zero:  
The case of study of city of Quito**

Álvaro Guzmán Rodríguez <sup>1</sup>, Gabriela Mejía Gómez <sup>1\*</sup>, Vinicio Velásquez Zambrano <sup>1</sup>, Ramiro Rosón Mesa <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador

<sup>2</sup> Fundación CICOP Ecuador

\* Corresponding author email: [gmejia.gmg@gmail.com](mailto:gmejia.gmg@gmail.com)

Recibido: 21/05/2019 | Aceptado: 10/07/2019 | Fecha de publicación:  
31/08/2019 DOI: 10.20868/abe.2019.2.3990

## TITULARES

- Metodología simplificada de dimensionamiento de acristalamientos para generar adecuada iluminación natural interior considerando las condiciones propias de un lugar.
- Metodología de dimensionamiento de incidencia de luz natural en interiores, que permita visualizar de forma codificada la variación de esta a lo largo del año.
- Metodología de apuntalamiento de diseño sostenible vinculado a condiciones óptimas de iluminación natural en espacios interiores emplazados en un contexto específico.

## HIGHLIGHTS

- Simplified dimensioning methodology of transparent openings to generate adequate interior natural illumination according own local conditions.
- Dimensioning methodology of interior natural lighting incidence, which allows code visualization variations along a year.
- Methodology to shore up sustainable design associated to optimum natural illumination conditions in interior spaces located on a specific context.

## RESUMEN

---

La Pontificia Universidad Católica del Ecuador, a través de su escuela de Arquitectura, plantea la sostenibilidad como uno de los ejes fundamentales del aprendizaje, desde la conciencia de la grave situación ambiental que el excesivo consumo de energía en las edificaciones provoca a nivel global. En este sentido, la iluminación natural (IN) y su aprovechamiento constituyen un aspecto imprescindible para el diseño de espacios interiores, dado que no solo brindan confort y salud, sino que también influyen directamente sobre el comportamiento de las personas y el consumo de energía. El clima y las condiciones físicas de un emplazamiento afectan a la incidencia de la IN, definiendo la forma en que se construye la arquitectura local.

La ciudad de Quito, emplazada sobre los 2850 msnm en latitud 0° y encajonada en la cordillera de los Andes, cuenta con unas condiciones de incidencia solar particulares, debido al dinamismo de las condiciones de cobertura y densidad de la nubosidad. Sin embargo, en la actualidad todavía son escasos los diseños arquitectónicos en la ciudad que consideran de forma técnica aspectos de IN. La normativa vigente en materia de arquitectura solo contempla de forma superficial algunos aspectos y recomendaciones para el diseño de espacios arquitectónicos interiores que fomentan y fortalecen la utilización de la IN.

En este caso, la metodología aplicada consiste en un trabajo grupal de investigación, en el que los estudiantes adquieren nociones fundamentales de bioclimática aplicada a la arquitectura, climatología local, incidencia e importancia de la luz directa y difusa en la arquitectura, geometría solar y dinamismo de las sombras a través del tiempo. El objetivo es aplicar los conocimientos adquiridos en un caso de estudio, conjugando las siguientes variables: destino de uso del espacio, orientación y tiempo predominante de utilización de este. Estas variables se analizan en un aplicativo modificable simplificado de estudio de IN para Quito, en el que se consideran las características físicas de la ciudad, permitiendo al diseñador determinar el tamaño adecuado de las aperturas verticales acristaladas, adaptándolas a la realidad de las condiciones climáticas de la ciudad, al espacio específico y su uso. De este modo, los estudiantes pueden visualizar de forma clara si las aperturas planteadas generarán en el usuario sensaciones de penumbra, confort o deslumbramiento, así como los períodos horarios en que se dan estas condiciones.

Considerando las características climatológicas y físicas de Quito, el predimensionamiento lumínico natural ayuda a arquitectos y diseñadores, inclusive en etapa de pregrado, a generar espacios arquitectónicos coherentes y contextualizados desde el punto de vista de la IN y que permitan maximizar su uso y reducir el consumo de energía. Este proceso refuerza la importancia que tiene el planteamiento de acristalamientos en arquitectura en altura y latitud 0. Se establecen además las orientaciones de aperturas acristaladas más y menos favorables para Quito, así como los rangos horarios de mayor y menor incidencia y variabilidad de radiación solar, todo lo cual podría ser incluido en normas técnicas sobre diseño arquitectónico para la ciudad de Quito. Por último, se determinan los períodos temporales con mayor probabilidad de cielos despejados, semi-cubiertos y cubiertos, los cuales afectan especialmente a la incidencia de luz solar en un espacio interior.

**Palabras clave:** *iluminación natural; clima; condiciones de nubosidad; orientación de aperturas.*

---

## **ABSTRACT**

---

The Pontifical Catholic University of Ecuador, at its School of Architecture, considers sustainability as one of the essential points of learning, in the awareness of the severe environmental crisis which excessive energy consumption in buildings causes worldwide. In this sense, natural illumination (NI) and its use constitute an indispensable aspect in interior design, because it not only provides comfort and welfare, but also influences directly people's behaviour and energy consumption. The weather and the physical conditions of a location affect the incidence of NI, defining the way which the local architecture is built in.

The city of Quito, placed at 2,850 meters above the sea level at 0° latitude and squeezed in the Andes mountain range, shows particular conditions of solar incidence, due the dynamic conditions of sky coverage and cloud density. However, nowadays the architectural designs which consider aspects related to NI on a technical basis are still scarce. The current regulations on architecture only contemplate superficially some features and recommendations for architectural design of interiors which encourage and strengthen the importance of NI.

The methodology applied consists in a group of research, where students acquire basic notions related to bioclimatic applied to architecture, local climatology, incidence and importance of direct and diffuse natural lighting, solar geometry and dynamism of shades along the time. The aim is to apply the knowledge acquired in case of study, conjugating the following variables: main use of space, space orientation and predominant schedule of use. These variables are analysed in a simplified modifiable application of a NI study developed for Quito, where the physical characteristics of the city are considered, allowing the designer to determinate the appropriate size of windows, adapting them to the reality of the weather conditions of the city, the specific space and its use. In this way, students are enabled to visualize clearly if the proposed openings will generate sensations of gloom, comfort or glare in the user, as well as the time zones when those lighting conditions affect the space.

Considering the physical and climatological characteristics of Quito, natural luminic pre-sizing helps architects and designers, even in the undergraduate stage, to generate architectural spaces coherent and contextualized from the NI perspective, which allow to maximize its use and decrease energy consumption. This process reinforces the importance and implications which has the location of clear openings in highlands located at 0° latitude. Besides, it establishes the most and less favourable orientations for glazed openings in Quito, as well as the time zones with major and minor conditions of solar radiation incidence and variability; which all could be included in technical regulations on architectural design for the city of Quito. Finally, it determines time zones with major and minor probability of clear, semi-covered and covered skies, which specially affect sunlight incidence in an interior space.

**Keywords:** *natural illumination; climate; cloudiness conditions; orientation of openings.*

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Existen hoy en día graves afectaciones dadas por el cambio climático, por lo que el uso de estrategias pasivas y sostenibles es fundamental en la forma en la diseñamos nuestros espacios habitables. Estudios realizados en 45 ciudades de Estados Unidos entre 1900 y 1982 mostraron un considerable aumento de días nublados, debido al incremento de partículas en suspensión provenientes de la contaminación en la atmósfera (Erickson, 1992). En la actualidad son casi inexistentes los proyectos arquitectónicos desarrollados en la ciudad de Quito que consideren a la Iluminación Natural (IN) como premisa de diseño. Esto ha conseguido la construcción de espacios arquitectónicos que generan en el usuario condiciones de (IN) fuera de confort, ya sea por deslumbramiento o penumbra, obligando a la utilización de estrategias de bloqueo de luz solar y, por consiguiente, al uso de iluminación artificial en horas de soleamiento natural, lo cual incrementa significativamente el consumo

energético de las edificaciones. La (IN) reproduce de mejor manera los colores que cualquier otro sistema de iluminación, puesto que el ojo humano está perfectamente adaptado a esta, y se trata de un recurso natural renovable y prácticamente inagotable. La luz natural en espacios arquitectónicos beneficia psicológica y biológicamente a las personas, afectando a sus niveles de productividad y sus estados de ánimo (Jaramillo, 2012).

El bloque urbano mayoritario de la ciudad de Quito se emplaza en un estrecho valle en la cordillera de Los Andes a 2850 msnm sobre latitud 0°, provocando que las principales vías y ejes urbanos recorran la ciudad en dirección norte-sur, lo que deriva en una significativa cantidad de edificaciones cuyas aperturas acristaladas principales se orienten perpendiculares al eje de soleamiento este-oeste, generando espacios disfuncionales e ineficientes desde el punto de vista de (IN) para esta latitud.



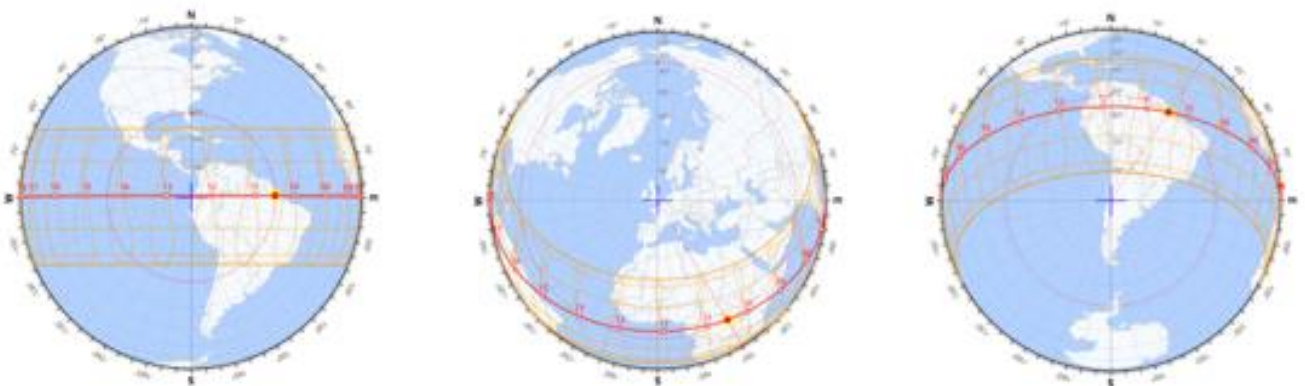
*Fig. 1. Corte transversal general de la ciudad de Quito. Fuente: Álvaro Guzmán Rodríguez*

Los países en desarrollo son también responsables de estas afectaciones climáticas, producto del desproporcionado consumo de energía y recursos. Existe una importante cantidad de estudios y prácticas de arquitectura sostenible y bioclimática dirigida a disminuir el consumo energético de espacios arquitectónicos, así como también programas informáticos para modelar las condiciones de (IN), los cuales han sido desarrollados principalmente en latitudes nórdicas para ciudades con características climatológicas y físicas distintas a las que se dan en altura y sobre latitud 0°. El constante cambio de condiciones de densidad de nubosidad en la ciudad de Quito, debido a este particular emplazamiento, genera condiciones de iluminancia del cielo en constante cambio, dificultando su análisis y predicción.

El predimensionamiento de aperturas acristaladas verticales por quienes diseñan espacios arquitectónicos requiere del conocimiento de conceptos fundamentales de (IN), como geometría solar, física de la luz,

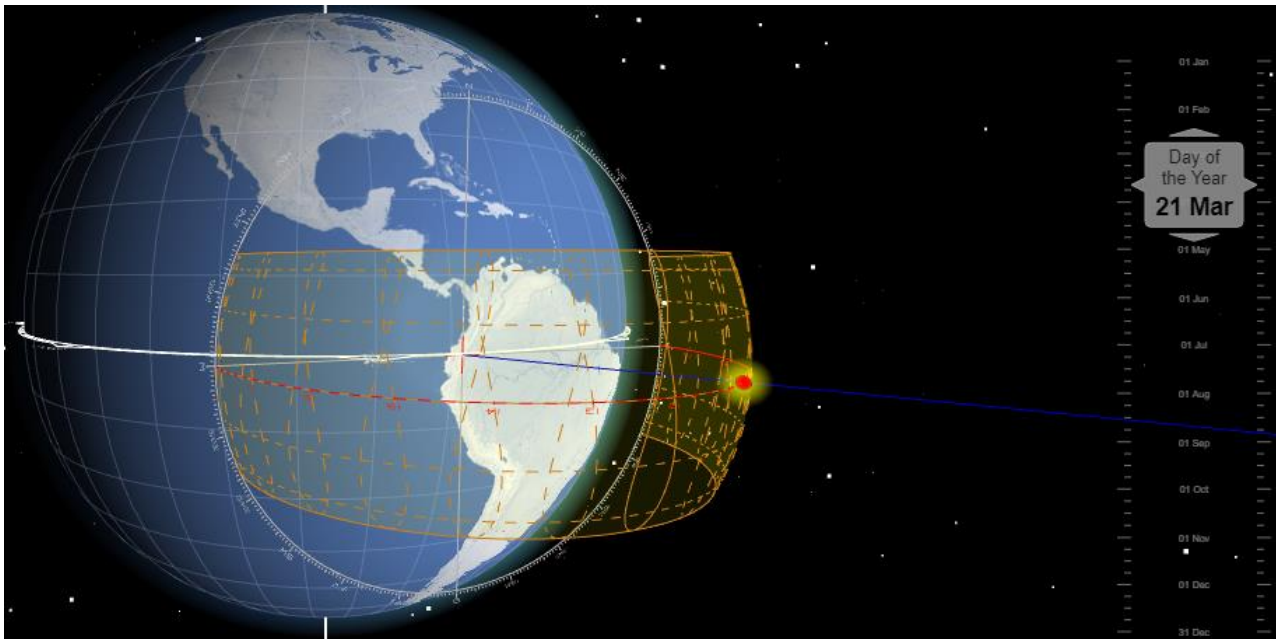
aspectos climatológicos y condiciones del cielo para un determinado emplazamiento, propiedades físicas de materiales y estándares y niveles básicos determinados en normas nacionales e internacionales, así como metodologías principales de análisis de (IN) en espacios interiores.

En latitudes lejanas a la línea ecuatorial, el principal factor que determina las condiciones de soleamiento se da por geometría solar. Por ejemplo, en la ciudad de Londres (Reino Unido), las aperturas acristaladas emplazadas hacia el sur, generarán óptimas condiciones de (IN) en espacios interiores. En Santiago de Chile son privilegiadas las aperturas acristaladas emplazadas hacia el norte, puesto que aprovecharán de mejor manera la incidencia solar. La proyección de la carta estereográfica solar para Quito es simétrica, sin mayor diferencia en la cantidad de horas con luz natural diarias a lo largo de los distintos meses del año. Esto no necesariamente implica que existan siempre condiciones óptimas de (IN) para espacios interiores.



**Fig. 2.** Cartas de proyección estereográfica.

Recuperado de: <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath2d.html>



**Fig. 3.** Proyección solar tridimensional sobre Quito, a latitud 0°. Recuperado de: <https://drajmarsh.bitbucket.io/earthsun.html>

La luz del sol, al traspasar la atmósfera terrestre, se ve afectada por fenómenos físicos como son la transmisión, la absorción, la dispersión y la reflexión. La luz natural entonces puede incidir en un espacio arquitectónico de forma directa, indirecta o difusa. La incidencia directa cambia constantemente el ángulo de incidencia e ilumina las superficies de forma horizontal cuando esta no es obstruida por un cuerpo opaco. La luz indirecta es producto de los reflejos de la luz natural en paredes, pisos y cielos falsos, resultando beneficioso su utilización en climas soleados. La luz difusa proviene de la atmósfera, excluyendo al sol, e incide en varias direcciones con la misma intensidad (Pattini, 2019).

Los espacios arquitectónicos son construidos con distintos materiales, teniendo estos distintas propiedades y complejidades en términos de percepción, propiedades al tacto (textura, rugosidad y pulidez) y propiedades a la vista, como la brillantez y la transmisión de luz

(transparencia, translucidez y opacidad). Todas estas variables afectan a la física de la luz en los espacios arquitectónicos. La luz transmitida a través de un elemento constructivo constituido por un material incluye componentes de luz directa y difusa. La transmitancia lumínica depende a su vez de la absorción y reflexión que genere un material con la incidencia de la luz (Sastre & Muñoz, 2010). Metodológicamente, para los diseñadores de espacios arquitectónicos es fundamental la comprensión de estas propiedades físicas de los elementos constructivos, al menos en términos generales, con el fin de poder proponer adecuadamente los materiales de la composición arquitectónica desde su misma concepción conceptual-constructiva.

Pierre de Fermat, en el siglo XVII, estableció que “la dirección tomada por la luz corresponde a la que demanda menos tiempo y distancia”, de lo cual se obtienen tres principios fundamentales del comportamiento de la trayectoria de la luz:

propagación directa, reflexión y refracción. Al atravesar la luz un material, esta cambia su dirección. Dependiendo de las características físicas del material, se generan distintos fenómenos de luz como la reflexión (luz no absorbida generando un haz de luz o rayo reflejado), la refracción (cambio de velocidad de propagación de la luz), la dispersión (disminución y variación de velocidad de luz incidente en todas las longitudes de onda al atravesar un material o superficie), la absorción (pérdida de energía de la luz al atravesar por un medio o material), la difusión (generada por reflexiones y refracciones simultáneas de la luz, dada en la naturaleza en niebla y nubes), la polarización, la difracción y la interferencia. Todos estos fenómenos son aprovechables en la (IN) para espacios arquitectónicos interiores (Sirlín, 2006).

Las distintas regiones son caracterizadas por sus condiciones climáticas, definiendo estilos de vida de las personas, así como sus características físicas y psicológicas. Desde el punto de vista de la metodología, un correcto diseño arquitectónico no puede desvincularse de su contexto, con el fin de ser capaz de aprovechar racionalmente recursos naturales y energéticos, y al mismo tiempo debe propiciar la conservación de los mismos. Junto a la

aparición de ciertos adelantos tecnológicos en espacios arquitectónicos, como sistemas de luz artificial y sistemas de climatización, han surgido construcciones y diseños arquitectónicos desligados del contexto físico y climático (Lacomba, 2012). El clima está conformado por variables las meteorológicas: temperatura, humedad, presión atmosférica, precipitaciones pluviales, nubosidad, viento y radiación solar (RS), que actúan de forma combinada y simultánea, caracterizando una determinada zona (Olgay, 2010). Los factores climáticos están afectados por las condiciones físicas de un emplazamiento, siendo estas: latitud, altitud, relieve, distribución de tierra y agua, corrientes marinas y modificaciones al terreno (Lacomba, 2012).

El Ecuador, incluyendo el Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), consta de distintos tipos de clima, con significativas variaciones anuales, debido, entre otras razones, a la amplitud altitudinal generada por la cordillera de Los Andes. El país está localizado climatológicamente dentro de un sistema de bajas presiones, donde confluyen masas de aire de los hemisferios norte y sur, generando tormentas y otras perturbaciones atmosféricas (Naranjo, 1981).

Zona	Rango de Altura (msnm)	Longitud
Costanera	0 -1500	80°W
Valle Interandino	1300 - 3000	80°W – 79°W
Amazonía y zona oriental	1000	79°W – 78°W

**Tabla 1.:** Configuración altimétrica del territorio del Ecuador. Fuente: Naranjo, 1981.

El clima predominante en la zona interandina es el ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo, que se ve afectado principalmente por su emplazamiento sobre latitud 0°, altitud sobre el nivel del mar, topografía abrupta y el efecto Foehn en las corrientes de aire (Paurrut, Winckell, Winckell & Rojas, 1983), que es el calentamiento del aire que se genera al descender éste por las vertientes de las laderas de las montañas opuestas a la dirección del viento (IGN, 2019).

Las nubes están conformadas por vapor de agua y otros elementos atmosféricos en suspensión, que al aglutinarse cubren de forma parcial o total la bóveda celeste. La concentración de partículas de agua, cristales de hielo y otros elementos en interacción con la luz natural provoca que estas sean percibidas en colores blancos, grises o negros. El relieve geográfico no genera por sí mismo nubosidad, pero afecta al movimiento de masas de aire, obligando al aire a ascender y enfriarse, causando nubosidad orográfica (León & Quirantes, 2017).

Clima	Lluvias anuales (mm)	Temperatura media (C°)	Humedad relativa (%)
Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo a húmedo.	500 - 2000	12 - 20	65 -85

**Tabla 2.** Aspectos generales del clima de la zona interandina del Ecuador.  
 Fuente: Paurrut, Winckell, Winckell & Rojas, 1983

	Ene	Feb	Mar	Abril	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<b>Sol</b>	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	3.1	6.3	5.1	2.2	0.5	0.2	0.3
<b>Parcial Nublado</b>	20.1	16.1	16.7	16.1	21.9	24.3	23.9	24.9	25.2	22.2	17.1	18.3
<b>Nublado</b>	10.5	11.9	14.2	13.8	8.8	2.5	0.8	0.8	2.6	8.3	12.7	12.4

**Tabla 3.** Porcentajes (%) de cobertura de nubosidad en la ciudad de Quito.  
 Recuperado de: [www.meteoblue.com](http://www.meteoblue.com)

El Factor de Luz Natural (FLN) es una de las metodologías más ampliamente utilizadas para el cálculo y comprensión de la (IN) en espacios interiores, la cual establece la relación entre la iluminancia natural horizontal interior (Ei) en un punto en el espacio con respecto a la iluminancia natural exterior (Ee) expresada en forma porcentual. Asume como

premisa de cálculo un cielo de nubosidad total cubierta y de iluminancia constante, que ayuda a determinar la eficacia de utilizar la luz del cielo para proveer de iluminación natural horizontal a un espacio interior (Pattini, 2019). (FLN) entre el 2% y 5% suponen condiciones óptimas de (Ei), (FLN) menores al 0.7% suponen condiciones de penumbra que



inhabilitan el normal desarrollo de actividades. (FLD) mayores al 5% suponen condiciones de excesiva (IN) en espacios interiores, generando deslumbramiento en el usuario (Mardaljevic, 2017) .

Cabe recalcar que este método excluye factores importantes que afectan la incidencia natural lumínica cómo: efectos de la incidencia de (IN) directa, orientación, dinamismo de densidad de nubosidad, destino y tiempo de uso primario del espacio. En latitudes con condiciones de nubosidad en el cielo estables, principalmente con coberturas de nubosidad totales, puede resultar bastante efectivo este método de análisis; mas no para emplazamientos donde el cambio de densidad de nubosidad sea constante (Bodart, Bustamante & Encinas, 2010).

La metodología de las métricas dinámicas permite visualizar de forma clara y dinámica en el tiempo las condiciones climatológicas de un emplazamiento. Sobre el eje horizontal, de izquierda a derecha, se ordenan los días del año de enero a diciembre, mientras que sobre el eje vertical de arriba hacia abajo se ordenan las horas del día, asignando valores y códigos de colores a cada celda, de acuerdo a las mediciones horarias de los aspectos climáticos que se están analizando (Bodart, Bustamante & Encinas, 2010).

El objetivo de esta metodología académica consiste en concienciar al estudiante sobre la importancia de un correcto diseño arquitectónico en términos de (IN), considerando las características físicas y climatológicas propias de un lugar determinado. Esta metodología de trabajo busca generar, desde el punto de vista técnico en (IN), condiciones de confort en el

usuario, de manera que se reduzca significativamente el consumo energético en edificaciones, evitando los bloqueos de acristalamientos verticales por un inadecuado diseño arquitectónico en cuanto a las condiciones de (IN). La luz natural es una fuente virtualmente inagotable de energía y, entendiéndola desde el punto de vista técnico-metodológico, conlleva múltiples beneficios para el usuario. Además, el adecuado manejo de la incidencia de (IN) en un espacio interior mejora la calidad y funcionalidad de la arquitectura.

## **2. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL**

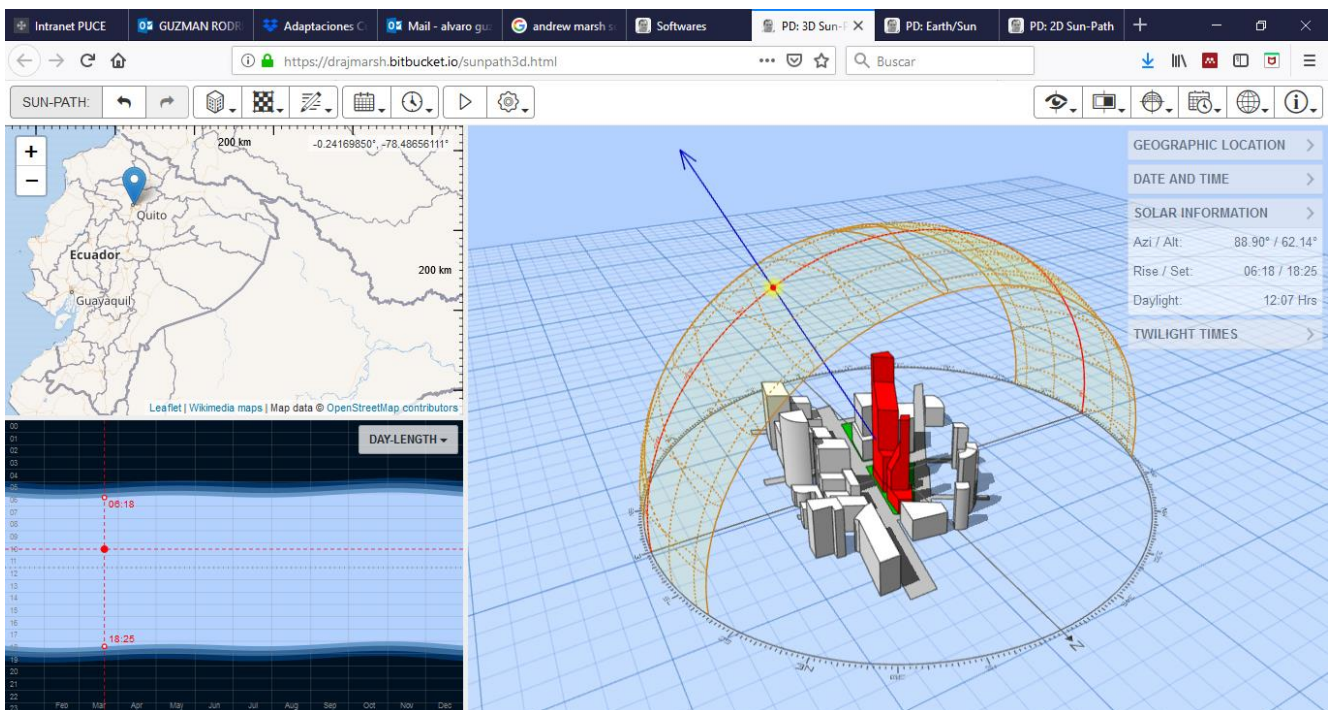
La metodología aplicada comienza con la concienciación que deben alcanzar el público en general y especialmente los diseñadores de espacios habitables, en cuanto a la importancia que presenta un correcto diseño arquitectónico en el consumo energético de los edificios. Es importante entender a través de la investigación aplicada que las estrategias sostenibles válidas para una localización no son necesariamente válidas para Quito, debido a sus condiciones de emplazamiento particulares. La investigación de distintos autores y estrategias de diseño sostenible permite concienciar al estudiante, en el sentido de que el diseño arquitectónico sostenible no debe adaptarse a las condiciones ambientales, sino considerarlas desde el nacimiento mismo del proyecto hasta su culminación y utilización. En este sentido, el análisis correcto de la orientación y el tiempo de uso del espacio constituye una herramienta fundamental para el diseño arquitectónico sostenible en latitud 0°. La estrategia enfoca su esfuerzo en el hecho de no desarticular el confort lumínico y térmico del usuario dentro del espacio arquitectónico. La metodología utilizada centra sus esfuerzos en los cinco ejes fundamentales que se presentan a continuación, ordenados cronológicamente.

## 2.1 Investigación de nociones básicas de sostenibilidad y diseño arquitectónico bioclimático

Esta fase permite al estudiante comprender las ventajas y desventajas de la incidencia directa solar en un espacio arquitectónico. Se parte de la premisa de que la (RS) incidente conlleva un componente térmico y otro lumínico, por lo que, en el caso particular de la ciudad de Quito, ambos deben y pueden ser aprovechadas. Los aspectos fundamentales de la geometría solar permiten al diseñador comprender que las aperturas acristaladas orientadas hacia determinados ángulos generan condiciones de deslumbramiento en el usuario, así como también pérdidas de confort por excesivas ganancias térmicas. A través de la información obtenida se analizan cuáles son las implicaciones de incidencia de soles bajos y

altos en latitud  $0^\circ$ , así como sus posibles beneficios y afectaciones para el confort en espacios interiores. Así mismo, se analiza la importancia que tiene para Quito la generación de sombra, puesto que, en soles altos (10:00 AM – 2:00 PM), la incidencia de (RS) es alta y prácticamente perpendicular al plano horizontal durante la mayor parte del año.

Para facilitar la comprensión de los principios de geometría solar, se utilizan herramientas virtuales de libre acceso desarrolladas por Andrew Marsh, donde el estudiante puede visualizar y entender fácilmente y en tiempo real el dinamismo de (IN), cómo varía la incidencia de esta y la generación de sombras cuando se modifican en el aplicativo las variables de latitud y tiempo (en horas y meses).



**Fig. 4.** Análisis de sombras en un volumen emplazado en Quito, a latitud  $0^\circ$ .  
Recuperado de: <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath3d.html>

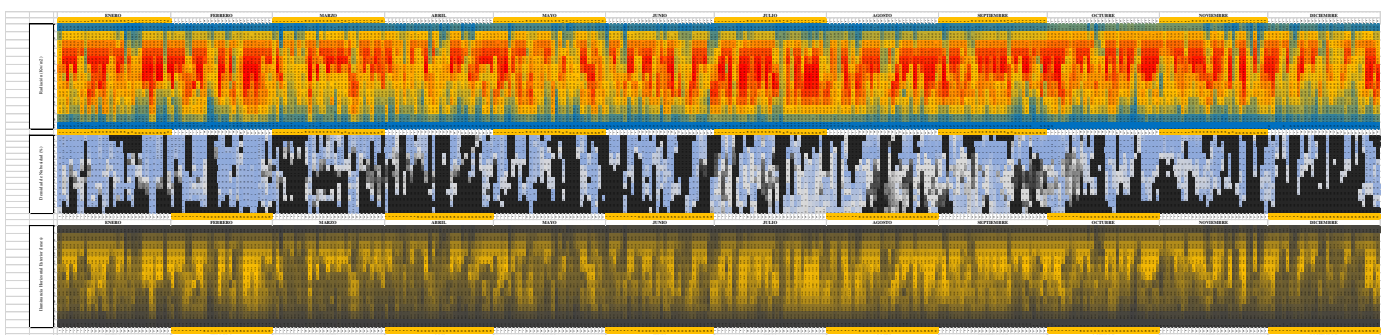
## 2.2 Análisis de las condiciones climáticas de Quito: radiación, cobertura de nubosidad e iluminancia natural exterior horizontal libre de obstáculos en año meteorológico tipo (análisis de la métrica dinámica climatológica para el caso de la ciudad)

La metodología de enseñanza insiste en el hecho que las condiciones climáticas determinan la arquitectura y el modo de vivir de las personas. El Ecuador es un país cuyo territorio es pequeño, comparado inclusive con otros países de la zona; sin embargo, posee una gran cantidad de climas y microclimas, generados por su emplazamiento sobre latitud 0° junto al océano Pacífico, la cordillera de los Andes y la Amazonía, así como por la importante amplitud altimétrica.

La investigación sobre sostenibilidad brinda al estudiante nociones claras sobre Luminancia e Iluminancia, ventajas y limitaciones del (FLN), el albedo, la física de la luz y otros conceptos claves de (IN); sin embargo, la metodología del análisis de la (IN) en espacios interiores se basa

en los efectos de la nubosidad como agentes de bloqueo y absorción de la penetración solar a través de aperturas acristaladas verticales. En investigaciones previas, se determinó a través del análisis estadístico sobre “Desviación Media Estándar” (DME), relativo a los datos climáticos de los últimos 15 años para la ciudad de Quito, el año meteorológico tipo para la misma, en términos de incidencia de (RS), índices de cobertura de nubosidad total expresados en porcentajes y índices de Iluminancia Natural Exterior (INE) libre de obstáculos. Los datos expresados a través de la Metodología de Métricas Dinámicas, con la ayuda de códigos de color, muestran una clara interrelación en latitud 0° entre la afectación de la nubosidad y la incidencia de (RS) e (IN).

La primera franja muestra los datos horarios (eje vertical) y diarios (eje horizontal), de radiación (Kw/m2), con el sistema de métricas dinámicas. Los valores marcados en rojo muestran los mayores valores de incidencia, los amarillos-anaranjados corresponden a los valores medios y los azules a los más bajos.



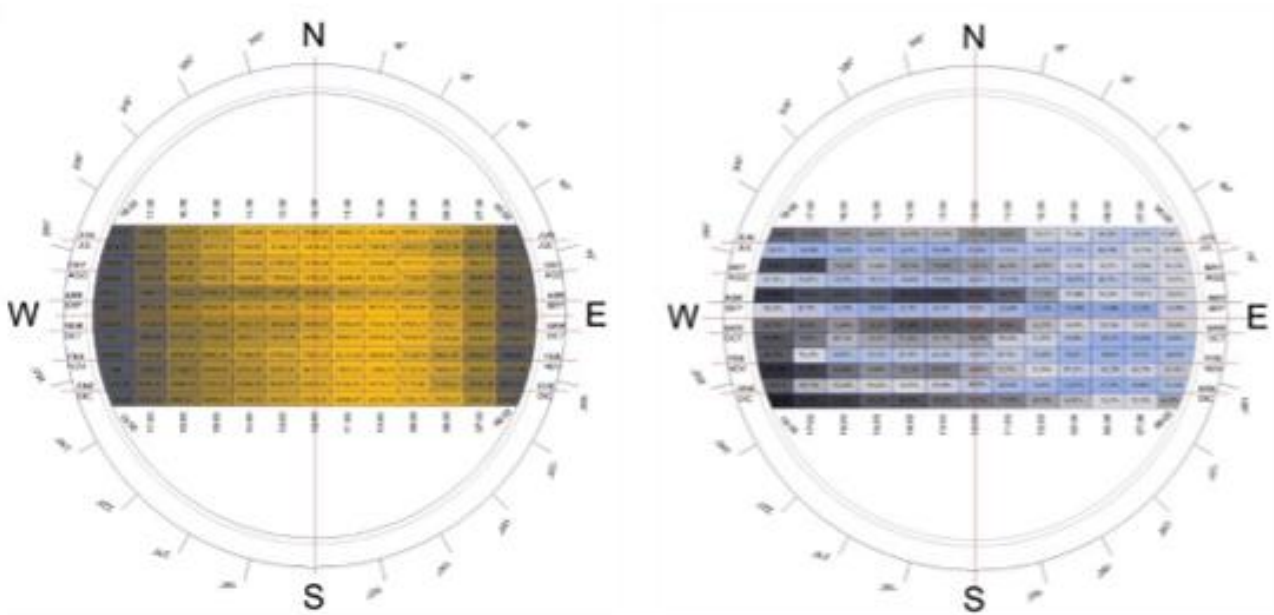
**Fig. 5.** Métrica dinámica de radiación solar, cobertura de nubosidad e iluminancia exterior.  
Fuente: Álvaro Guzmán Rodríguez

La segunda franja muestra los datos horarios (eje vertical) y diarios (eje horizontal) de porcentaje de cobertura de nubosidad (%), con el sistema de métricas dinámicas. Los valores marcados en celeste muestran coberturas de nubosidad mínimas, mientras que los colores grises claros y medios muestran condiciones de cielo semicubiertas. Los valores de coberturas de cielo total se muestran en colores grises oscuros.

La tercera franja muestra los datos horarios (eje vertical) y diarios (eje horizontal), de (INE) en luxes, con el sistema de métricas dinámicas. Los valores marcados en amarillo muestran

representan los periodos horarios de mayor incidencia, mientras que los códigos grises claros muestran condiciones de mediana incidencia y códigos grises oscuros muestran las horas de bajas condiciones de (IN).

Los datos de las franjas de (INE) y cobertura de nubosidad (%) detallados en las métricas dinámicas fueron trasladados de forma simplificada a la carta de proyección estereográfica solar para latitud 0°, donde el diseñador puede entender dichas condiciones con respecto a la orientación de sus aperturas acristaladas.



**Fig. 6.** Proyección estereográfica solar de iluminancia y cobertura de nubosidad para Quito.  
Fuente: Álvaro Guzmán Rodríguez

### 2.3 Análisis del tiempo de uso del espacio arquitectónico

La metodología aplicada busca hacer más eficientes las condiciones de (IN) del espacio arquitectónico. En este sentido se ha trazado, en un formato similar al de las métricas dinámicas de las condiciones climáticas, un cuadro editable donde deberán ser marcados, de

acuerdo al uso del espacio por el usuario, los períodos horarios de mayor utilización en códigos naranja y los de escasa utilización en códigos azules. Puesto que la metodología de análisis de (IN) está abierta a cualquier tipo de espacio arquitectónico, en el caso de recintos universitarios debe tenerse en cuenta que la utilización del espacio a una misma hora no es constante durante todo el año. En el caso de las

viviendas, las condiciones de uso del espacio no varían de forma tan marcada como en el de otros usos del espacio arquitectónico.

El sistema de análisis en la fase actual se encuentra desarrollado en un aplicativo editable en formato Excel y obliga a hacer un análisis por cada ambiente, considerando su uso en el tiempo en comparación con su orientación. Se estudia la posibilidad de traspasar esta metodología de análisis a plataformas virtuales que permitan automatizar dicho análisis.

### 2.3 Predimensionamiento de las aperturas acristaladas verticales

Metodológicamente, se parte del planteamiento básico de (IN) que nos indica que no necesariamente una gran apertura vertical acristalada ilumina mejor un espacio arquitectónico. Se incentiva en el diseñador un aproximamiento a conceptos técnicos avanzados de (IN), dentro de los cuales se incluye a la Transmitancia Lumínica, entendida

como la capacidad de un cristal para permitir el paso de luz natural.

El predimensionamiento de acristalamiento planteado en el presente caso está basado en una metodología de cálculo simplificado, que utiliza para el cálculo de (Ei) interior en el centro del espacio las siguientes variables: iluminancia exterior (Ee), área del espacio arquitectónico (Si), área del acristalamiento (Span), factor de transmitancia (t), coeficiente de utilización (u) y factor de apertura (v).

La fórmula ha sido previamente configurada en la hoja Excel, de tal manera que el diseñador deba modificar simplemente las dimensiones (Si) y (Span). El factor (t) se lo puede obtener de la ficha técnica del fabricante; sin embargo, en caso de no tener esta información se recomienda la utilización del 0.9 equivalente al que tiene un vidrio de baja calidad (es decir, partiendo para el peor escenario de (t) posible).

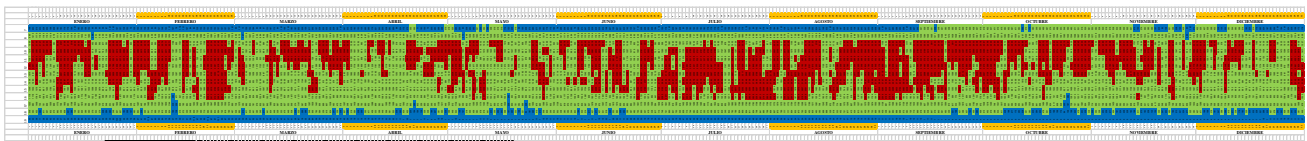
Ei	Iluminancia Interior (lux)			1633,11	NO MODIFICAR LA CELDA		
Ee	Iluminancia Exterior (lux)			49224,13501	BUSCAR EL VALOR		
Span	Superficie bruta paso de luz			5,25	NO MODIFICAR LA CELDA		
	Largo	Alto			DIMENSION DE VENTANA		
	3,5	1,5					
v	Factor de avertura		0,5	0,5	NO MODIFICAR LA CELDA		
t	Factor de transmisión		0-0,7	0,7	NO MODIFICAR LA CELDA		
u	Coeficiente de utilización		0,2-0,65	0,65	NO MODIFICAR LA CELDA		
Si	Superficie del local (m2)			36,00	NO MODIFICAR LA CELDA		
	Largo	Ancho			DIMENSION DE HABITACION		
	6	6					
Ei	Ee	Span	v	t	u	ILUMINANCIA INTERIOR EN LUXES	NO MODIFICAR LA CELDA
		Si					
Ei	49224,135	5,25	0,5	0,7	0,65	1633,11	NO MODIFICAR LA CELDA
		36					

**Fig. 7.** Cuadro de configuración de parámetros de cálculo. Fuente: Álvaro Guzmán Rodríguez

### 3. RESULTADOS

La metodología está diseñada para su sencillo uso y reconocimiento de resultados, de tal manera que facilite la toma de decisiones de (IN) por diseñadores no expertos en el tema. De esta forma se ha habilitado una hoja de cálculo

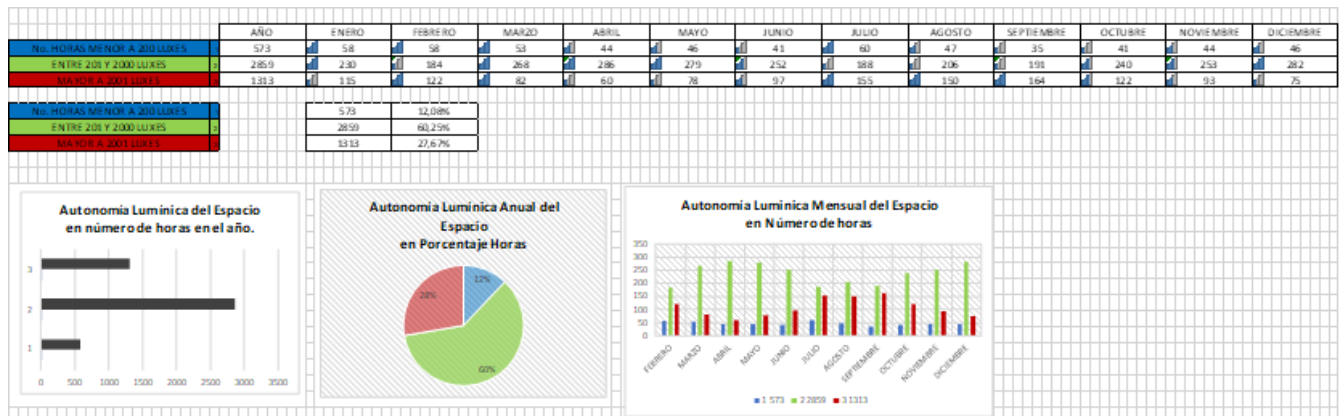
dentro del aplicativo Excel, en el formato de métrica dinámica explicado en pasos anteriores. En cada celda se ha configurado la fórmula de cálculo simplificado de acuerdo a varios factores (Span, t, u, v, Si), establecidos previamente; mientras que, en el caso de los valores (Ee), la fórmula los toma directamente de la métrica dinámica de (INE).



**Fig. 8 Métrica dinámica de resultados de cálculo.**  
 Fuente: Álvaro Guzmán Rodríguez

El aplicativo Excel está configurado para indicar al diseñador la cantidad de horas anuales que de acuerdo a los datos especificados en el punto anterior generarán condiciones de deslumbramiento (valores mayores a 2001 luxes), confort (valores entre 201 y 2000 luxes) o

penumbra (valores menores a 200 luxes). El recuento de horas se muestra en la página tanto de forma anual como mensual. Los datos se muestran en gráficos de estadística, que permiten al diseñador entender de mejor manera los resultados.



**Fig. 9. Resumen mensual de cálculo de Horas: confort, deslumbramiento y penumbra.**  
 Fuente: Álvaro Guzmán Rodríguez

La metodología de cálculo y predimensionamiento de (IN), así como los conceptos fundamentales de geometría solar, brindan al estudiante los conocimientos suficientes para comprender que, dependiendo de la orientación, el mes y la hora, un espacio arquitectónico interior se verá o no afectado por la incidencia directa solar. El aplicativo consta de un contador automatizado de horas de radiación

directa con respecto a la orientación de las aperturas, a las condiciones del espacio y a las aperturas acristaladas definidas en puntos anteriores. Lo que debe hacer el diseñador es comparar la orientación en grados de su ventana con la establecida en el cuadro, para comprender qué mes del año con respecto a esa orientación y condiciones es el más y menos favorable desde el punto de vista de (IN).

	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
0				60	78	97	155	150	155			
15			13	59	75	97	155	139	136	25		
30		17	65	59	75	97	155	139	136		16	
45	44	55	73	59	75	97	116	139	136	105		29
60	44	55	73	59	75	97	138	139	136	105	52	29
75	83	72	73	59	68	95	138	124	136	105	69	56
90	83	72	65	52	48	58	65	84	98	89	69	56
105	99	72	65	52	48	45	43	84	98	89	69	64
120	109	88	65	52	38	31	24	62	98	89	83	70
135	113	101	73	52	38	31	24	62	98	105	89	74
150	113	101	73	52	38			62	98	105	89	74
165	115	122	78	30					90	114	93	75
180	115	122	82							114	85	75
195	115	105	69	30					114	97	77	75
210	115	105	30	8	19			45	66	53	77	75
225	115	105	30	8	19	14	37	65	66	53	77	75
240	71	67	30	8	30	29	65	66	66	53	41	46
255	94	86	30	8	19	14	39	45	66	53	59	61
270	50	67	30	17	40	52	112	88	88	53	41	31
285	32	50	30	17	40	52	112	88	88	53	24	19
300	16	50	30	30	65	81	150	132	114	53	21	11
315	6	50	30	17	51	81	150	111	88	53	24	5
330		50	30	30	65	97	155	132	114	53	24	
345			17	30	78	97	155	150	114	33		
360				60	78	97	155	150	155			

**Fig. 10.** Resumen del recuento de horas de confort, deslumbramiento y penumbra / orientación.  
 Fuente: Álvaro Guzmán Rodríguez

### 2.3 Discusión de los resultados

Existe una importante cantidad de simuladores informáticos de (IN) en el medio, pero muchos de estos requieren de conocimiento técnico previo avanzado, lo que dificulta su utilización por quienes planifican espacios arquitectónicos. La mayoría de estos indican las condiciones de (IN) generadas de acuerdo a ciertas condiciones de emplazamiento, como latitud y orientación, y las condiciones de configuración del espacio, como el área del habitante y el área de las aperturas acristaladas, pero no ayudan al proyectista a tomar decisiones sobre tamaños adecuados de aperturas acristaladas.

En la actualidad, debido a los adelantos tecnológicos en materiales y sistemas constructivos, ha sido posible aumentar el área de las aperturas acristaladas en las envolventes. Para el caso de la latitud 0°, se deben estudiar apropiadamente las aperturas cenitales, puesto que la incidencia solar es prácticamente perpendicular todo el año, implicando la generación de condiciones de deslumbramiento y sobrecalentamiento la mayor parte del tiempo, inclusive en condiciones de cielo parcial cubiertas.

Un correcto diseño de (IN) y de sostenibilidad en general requiere de herramientas precisas que consideren los condicionantes propios de un determinado emplazamiento. En comparación con otras latitudes que cuentan con condiciones de cielo más estables que las de altura en latitud 0°, por ejemplo, el análisis con respecto a la geometría solar será más relevante.

La metodología aplicada permite analizar, entre los distintos grupos de trabajo de los estudiantes, cómo cambian las condiciones de (IN) en un espacio arquitectónico de configuración espacial constante (área del local, número de aperturas acristaladas y tiempo de uso del espacio), solamente con respecto al cambio de orientación. De esta forma, se puede concienciar sobre la importancia que tiene este análisis al momento de proponer espacios arquitectónicos en latitud 0°. Se analizan espacios existentes con el fin de que los estudiantes puedan proponer alternativas viables de mejoramiento de condiciones de (IN), por ejemplo, en cuanto a los tiempos de uso del espacio y a los sistemas de control del paso de luz solar directa.

#### **4. CONCLUSIONES**

La geometría solar simétrica de la ciudad de Quito permite analizar de manera más sencilla las condiciones de (IN), puesto que la variación de los ángulos de incidencia no es tan marcada como en latitudes lejanas a la línea 0°. Los soles bajos, que penetran profundamente los espacios en orientaciones entre los 30° y 150°, pueden generar condiciones de deslumbramiento en toda la habitación, dependiendo simplemente de la existencia de bloqueos por cuerpos opacos. Los soles bajos de la tarde, en la ciudad de Quito, no generan condiciones de deslumbramiento ni excesivas ganancias térmicas, puesto que son bloqueados por las estribaciones de la cordillera occidental de los Andes.

Las 12 horas de claridad, que no varían de forma tan marcada en latitud 0° a lo largo del año, pueden ser aprovechadas de mejor manera por quienes diseñan espacios arquitectónicos. Para el caso específico de la ciudad de Quito, la iluminancia del cielo genera condiciones de (IN) adecuadas casi la mayoría de las horas del día. Espacios cuyas actividades se realicen en las mañanas y tardes, como las universidades, deberían orientar sus cristales hacia el norte y sur, evitando deslumbramientos y excesivas ganancias térmicas. Al contrario de lo establecido en varias normativas de arquitectura internacionales, la actual normativa vigente en la ciudad de Quito no hace este tipo de consideraciones.

El análisis de distintas configuraciones espaciales arrojó que las orientaciones de acristalamientos de azimut entre los 0° y 75°, entre los meses de julio y septiembre, generan una importante cantidad de horas de deslumbramiento en horas de mañana. Por lo tanto, no son aconsejables para el emplazamiento de espacios dedicados a la educación o actividades de oficina. Las orientaciones de azimut entre los 300° y 359°, entre los meses de julio y agosto, suponen una alta cantidad de horas de deslumbramiento por las mañanas, y tampoco son aconsejables para espacios de oficinas. Para las actividades educativas en la ciudad de Quito, en la mayoría de los casos, coincide con el período donde los estudiantes se encuentran de vacaciones. Las orientaciones de azimut entre los 210° y 255°, entre los meses de abril y junio, generan las menores condiciones de deslumbramiento en horas de la tarde. Las mejores condiciones de (IN) para el caso de Quito, casi en cualquier orientación, se dan entre los meses de abril y junio.

La herramienta permite al proyectista generar su propia metodología de trabajo para encontrar la mejor orientación posible, con respecto a la realización de una actividad en un rango



predeterminado de tiempo. De igual manera, permite al diseñador visualizar de forma clara qué estrategia de control de acceso de luz solar es la más adecuada, de acuerdo a la condición menos favorable o de mayor cantidad de horas de deslumbramiento, con respecto a una determinada orientación y configuración espacial.

## REFERENCIAS

- [1] Erickson, John, “El efecto invernadero. El desastre de mañana, hoy”, 1992.
- [2] Jaramillo, Nadya, “Iluminación Natural en el Espacio Interior de Viviendas”, 2012.
- [3] Pattini, Andrea, “Luz natural e iluminación de interiores”. Recuperado de: <http://www.edutecne.utn.edu.ar/eli-iluminacion/cap11.pdf>
- [4] Sastre, Ramón y Muñoz, Francisco, “Propiedades de los materiales y elementos de construcción”, 2010.
- [5] Sirlín, Eli, “La luz en el teatro”, 2006.
- [6] Lacomba, Ruth, “Arquitectura solar y sostenibilidad”, 2012.
- [7] Olgyay, Víctor, “Arquitectura y clima”, 2010.
- [8] Lacomba, Ruth, “Arquitectura solar y sostenibilidad”, 2012.
- [9] Naranjo, Plutarco, “El clima del Ecuador”, 1981.
- [10] Paurrut, Pierre; Winckell, Jorge; Winckell, Alan y Rojas, José, “Los climas del Ecuador”, 1983.
- [11] Instituto Geográfico Nacional (IGN). Recuperado de: [https://www.ign.es/espmap/figuras\\_clima\\_ach/pdf/Clima\\_fig\\_03.pdf](https://www.ign.es/espmap/figuras_clima_ach/pdf/Clima_fig_03.pdf)
- [12] León, Francisco y Quirantes, José, “Observación e identificación de nubes”. Recuperado de: [http://www.exploraciencia.profes.net/ArchivosColegios/Ciencia/Archivos/Explora%20a%20ciencia/unidad\\_nubes.pdf](http://www.exploraciencia.profes.net/ArchivosColegios/Ciencia/Archivos/Explora%20a%20ciencia/unidad_nubes.pdf)
- [13] Mardaljevic, John, “Daylighting and Compliance: Are current standards sufficient?”. Recuperado de: [http://www.cibse.org/getmedia/a8fa9439-773f-4bdc-bb15-38ab6d9113b4/Daylighting-and-Compliance\\_small.pdf.aspx](http://www.cibse.org/getmedia/a8fa9439-773f-4bdc-bb15-38ab6d9113b4/Daylighting-and-Compliance_small.pdf.aspx)
- [14] Bodart, Magali; Bustamante, Waldo y Encinas, Felipe, “Iluminación natural de edificios de oficinas”, 2010.
- [15] Bodart, Magali; Bustamante, Waldo y Encinas, Felipe, op. cit., 2010.