

Iluminación natural bajo frecuencia de tipos de cielo en la Cuenca de México

Natural lighting frequency under sky type in the Mexico Basin

Resumen

El buen uso de la luz natural depende de su disponibilidad en un sitio. La Cuenca de México, al encontrarse en una zona intertropical, cuenta con abundante recurso lumínico durante casi todo el año. En un día despejado se ha registrado más de 90 klux, aunque esta cantidad se reduce hasta en un tercio bajo condiciones nubladas. Se recopiló información de diversas fuentes con el objetivo de representar la frecuencia anual y diurna de tipos de cielo en un año sin anomalías climáticas, así como de los primeros cinco años con mediciones registradas disponibles, cuando predominan las condiciones de cielo despejado y parcialmente nublado, por lo que se deben considerar estrategias particulares para esta dinámica de la luz natural.

Palabras clave: tipos de cielo, iluminación natural, percepción remota, cámara de nubosidad

Abstract

A good use of natural light depends on its availability at any given site. The Basin of Mexico, being in an intertropical zone, has abundant light resources almost year-round. On a clear day, over 90 klux have been recorded, though this amount is reduced by up to a third under cloudy conditions. Information was collected from several sources so as to present the annual and daytime frequency of sky types over a one-year period without climatic anomalies, as well as over the first five years with available recorded measurements, which showed that clear and partially cloudy sky conditions prevailed; therefore, particular strategies to take advantage of this natural light dynamic should be considered.

Keywords: sky types, natural lighting, remote sensing, cloud chamber

**Raquel Yerani
Cruz Sánchez**

Universidad Nacional
Autónoma de México

**Cecilia Genoveva
Guadarrama Gándara**

Universidad Nacional
Autónoma de México

Fecha de recepción:
22 de mayo de 2023

Fecha de aceptación:
4 de octubre de 2023

[https://doi.org/10.22201/
fa.2007252Xp.2023.14.28.87248](https://doi.org/10.22201/fa.2007252Xp.2023.14.28.87248)



Este trabajo está amparado por
una licencia Creative Commons
Atribución-No Comercial, 4.0

Introducción

La luz natural disponible en una región se define por la luz solar directa y la luz difusa de la bóveda celeste, la cual se verá afectada por elementos y factores climáticos que modifican la nubosidad en una región.¹ El término “*daylight climate*” se ha usado para vincular el significado general del clima con relación a las condiciones predominantes en la intensidad y duración de la luz solar debido a la turbidez y nubosidad en combinación con la frecuencia de tipos de cielo despejado, parcialmente nublado y nublado de un sitio.² Conocer las condiciones reales de nubosidad en una región es indispensable al proponer las primeras estrategias de diseño para el aprovechamiento de la iluminación natural en entornos urbano-arquitectónicos antes de cualquier simulación en *software*. En la Cuenca de México existe una falta de confiabilidad en la representación de datos climáticos por observatorios meteorológicos y además no se muestra la frecuencia de cada condición de cielo en particular.

El objetivo de esta investigación es representar las condiciones reales de nubosidad en la Cuenca a lo largo del año y del día mediante la sistematización de datos observados y procesados en el sitio. Esto permitirá construir una base para posibles investigaciones futuras sobre la clasificación de tipos de cielo y estudios de iluminación natural en México.

La Cuenca de México está compuesta por parte de cuatro estados diferentes de México, con un área total de 9,560 km² y una altitud de 2,150 metros sobre el nivel del mar (Conabio 2022). Incluye Ciudad de México, una de las ciudades más grandes del mundo, con una superficie total de 2,804 km² y una población de 20.11 millones de habitantes (INEGI 2020), incluyendo el área metropolitana que se ha extendido hacia las áreas suburbanas del Estado de México.³ La Cuenca es una delimitación física rodeada de montañas, donde se pueden considerar condiciones climáticas similares, con sus respectivos microclimas.⁴ Debido a que esta zona cuenta con una de las mayores extensiones urbanas del país, se optó por estudiar y caracterizar las condiciones de nubosidad, ya que, si bien la nubosidad es la principal variable natural que modifica la dinámica

¹ Cecilia G. Guadarrama Gándara y Daniel Bronfman Rubli, “Sobre luz natural en la arquitectura”, *Bitácora Arquitectura*, núm. 29, 2014, pp. 76-83.

² Richard Kittler y Stanislav Darula, “Parametric definition of the daylight climate”, *Renewable Energy*, vol. 26, núm. 2, 2002, pp. 177-187, [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(01\)00128-8](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(01)00128-8).

³ Alejandro E. Suárez Pareyón, et al., *Suelo para Vivienda de la Población de Menores Ingresos en la Zona Metropolitana del Valle de México*, Facultad de Arquitectura, 1ª ed., UNAM, 2017.

⁴ Ernesto Jauregui, *Clima de la Ciudad de México*, Plaza y Valdés, 2000, pp. 34.

de la luz natural, el entorno urbano tiene un impacto aún mayor en la disponibilidad final de luz en los espacios interiores. La calidad y cantidad de luz natural se verá afectada si los edificios que la obstruyen son altos con relación a su distancia dentro del cañón urbano.⁵ El vínculo entre la densidad urbana y el aprovechamiento eficiente de la luz natural es un equilibrio entre los factores climáticos y los patrones espaciales y de uso de los espacios urbanos.

Método

Como punto de partida para el análisis de la información disponible sobre las condiciones de nubosidad en la Cuenca, se llevó a cabo la sistematización de datos de tres observatorios sinópticos registrados en la Organización Meteorológica Mundial (wmo). Estas observaciones son realizadas por profesionales capacitados, quienes registran cuatro mediciones a lo largo del día (7:00, 10:00, 13:00 y 14:00 horas)⁶ de la cobertura de nubosidad medida en oktas. Al revisar los registros se encontraron sesgos en la información, como observaciones faltantes o cambios en los rangos de oktas según el profesional que realizó el registro. Estas omisiones modifican significativamente la frecuencia de los estados del cielo a lo largo del día. Uno de estos observatorios se encuentra en la Universidad Nacional Autónoma de México, como parte del Colegio de Geografía, con registro en la wmo.

La segunda fuente de información con datos medidos *in situ* se obtuvo de una cámara de nubosidad con banda de sombra rotacional modelo TSI 880, que proporciona una vista hemisférica de la bóveda celeste para obtener imágenes minuto a minuto desde las 6:00 a. m. hasta las 6:00 p. m. Distintas investigaciones internacionales se han llevado a cabo para el monitoreo y caracterización de tipos de cielo con esquemas automáticos de detección de nubes debido a la necesidad de sustituir las observaciones visuales del cielo a través de imágenes de 360° de la bóveda celeste,⁷ que a su vez han sido comparadas con observaciones meteorológicas de superficie. Esta cámara está instalada en la Plataforma de Observación de Luz Natural por parte del Posgrado en Arquitectura en el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México (latitud: 19,32, longitud: -99,17, elevación: 2,280 msnm) desde el año 2014. Las imágenes

⁵ P. J. Littlefair, *Site layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice*, IHS BRE Press, 2ª ed., 2011.

⁶ Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía en la Universidad Nacional Autónoma de México.

⁷ Andreas Kazantzidis, *et al.*, "Cloud Detection and Classification with the Use of Whole-Sky Ground-Based Images", *Atmospheric Research*, núm. 113, 2012, pp. 80-88, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.05.005>.

obtenidas a lo largo del día, con canales RGB (rojo, verde, azul), HSV (tono, saturación, brillo) y E (escala de grises), son procesadas por el software Yankee Environmental Systems Data Acquisition system (Yesdaq) (Figura 1).



Los datos obtenidos de las imágenes procesadas muestran el porcentaje total de cobertura de nubosidad y los porcentajes de cobertura de nubes delgadas u opacas. Estos porcentajes se analizaron y revisaron a lo largo del día y a lo largo de cada año, comparando la frecuencia total de cada tipo de cielo presente en la Cuenca. Para la caracterización se utilizó el método de cobertura de cielo, el cual estima la cantidad de cobertura de nubes (IES). La cobertura de nubes se estima en décimos y se expresa en una escala de 0.0 para ausencia de nubes y 10 para cobertura total del cielo. Las condiciones del cielo se dividen de la siguiente manera: despejado de 0 a 3.9, parcialmente nublado de 4.0 a 7.9 y nublado de 8.0 a 10.⁸

Debido a que hasta el momento sólo se cuenta con 7 años de registros de la cámara de nubosidad, no se puede estimar una normal climatológica, la cual requeriría al menos 30 años de registros continuos para calcular un promedio y una probabilidad de ocurrencia de los diferentes tipos de cielo en la región. A lo largo de 30 años, el promedio podría verse afectado por años con anomalías climáticas, como lluvias o sequías predominantes. Por lo tanto, al analizar los datos de los años disponibles, se presenta la información de cada uno de ellos (Figura 2), prestando especial atención a seleccionar un año típico meteorológico dentro del rango, es decir, un año sin anomalías climáticas. El año seleccionado fue 2018, se analizaron los

Figura 1. Clasificación de tipos de cielo.

Fuente: Imágenes de la Cámara de Nubosidad TSI880. Clasificación ISO/CIE.

⁸ Illuminating Engineering Society of North America, *The IESNA LIGHTING HANDBOOK*, 9ª ed., 2000.

diferentes informes consultados en el Servicio Meteorológico Nacional de México, el cual mide las variables climáticas en relación con la normal climatológica correspondiente a la región.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2014	2.59	0.69	1.45	2.64	5.23	6.23	5.33	4.92	6.31	5.47	3.83	3.62
2015	2.96	2.64	3.73	2.84	4.05	5.67	4.91	4.76	5.91	4.88	3.88	4.06
2016	4.16	2.26	4.48	3.77	3.12	5.64	5.55	5.66	6.12	4.97	4.88	2.38
2017	1.15	1.29	2.78	2.94	4.25	4.78	6.05	5.72	6.63	4.76	1.13	2.67
2018	2.79	3.15	1.62	2.36	2.81	5.18	4.14	5.74	5.60	5.77	3.48	2.95
2019	2.29	2.33	1.70	2.31	2.73	5.58	5.71	4.17	5.68	5.63	4.00	1.39

Debido a los posibles sesgos en la información de los observatorios sinópticos y a la falta de equipos especializados, como una cámara de nubosidad en cada observatorio o universidad, se optó por analizar imágenes satelitales multiespectrales mediante el procesamiento de percepción remota, para comprobar su confiabilidad se comparó con las mediciones y observaciones realizadas en superficie. Aunque hay diferencias entre las mediciones en superficie y las de altura, esta investigación demostró que las imágenes satelitales son una herramienta útil, de acceso gratuito y confiable para estimar las condiciones de nubosidad en una región, además de conocer su distribución y comportamiento a lo largo del año.

Las imágenes satelitales se obtuvieron a través del Open Access Hub del proyecto Copernicus⁹ de la Agencia Espacial Europea (ESA), el cual proporciona acceso completo, gratuito y abierto a los productos del satélite multiespectral Sentinel 2. Mediante el procesamiento de imágenes se pudieron obtener porcentajes de cobertura de nubosidad de la Cuenca de México y conocer su distribución sobre la superficie. Estos porcentajes, convertidos en coeficientes, se ubicaron dentro del rango de clasificación de tipos de cielo utilizado en esta investigación.

Validación

En esta investigación se establecieron criterios de validación para el manejo y sistematización de los datos obtenidos. Se verificó que los datos obtenidos de los observatorios sinópticos estuvieran registrados en la Organización Meteorológica Mundial (wmo), lo que asegura la calidad y estandarización de la información.

⁹ Agencia Espacial Europea, Programa de Observación Copernicus, 2016, <https://www.copernicus.eu/en>, consultado el 19 de mayo de 2023.

Figura 2. Coeficientes de cobertura de nubosidad, promedio horario mensual. Fuente: Elaboración propia con datos de Cámara de Nubosidad TSI880.

La comparación entre los coeficientes y la clasificación de cielo obtenidos por los profesionales de los observatorios sinópticos y los datos procesados por la cámara de nubosidad fue fundamental. Aunque se encontraron diferencias en los coeficientes, todos se ubicaron dentro del rango correspondiente a cada tipo de cielo, lo que indica una concordancia en la representación de los datos entre ambas fuentes de información.

La instalación de la cámara de nubosidad se realizó en el año 2014 siguiendo los parámetros y lineamientos del Yesdaq, y su calibración para el procesamiento de píxeles fue validada por el Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura¹⁰ junto con el Observatorio de Radiación Solar en el Instituto de Geofísica. La plataforma donde se encuentra la cámara también alberga otros instrumentos de medición de radiación solar y una estación meteorológica, los cuales reportan al Centro Regional de Medición de la Radiación Solar Región IV de la WMO.

Para la selección de datos de la cámara de nubosidad, se descartaron aquellos registrados por debajo de una altura solar de 5°, considerando la orografía de la Cuenca de México. Además, se limitó el rango horario de las imágenes procesadas desde las 7:00 hasta las 18:00 horas.

Se compararon los coeficientes de una misma hora de registro entre el Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía y las imágenes capturadas y procesadas por la cámara de nubosidad TSI880. En total, se compararon 1,354 datos durante el año 2018. La diferencia encontrada entre estos coeficientes fue del 3.6%. Además, se realizó una revisión visual de las imágenes para identificar posibles anomalías en el procesamiento y se encontró la sombra de un árbol en orientación poniente, la cual representó sólo el 0.36% del área total procesada y no tuvo un impacto significativo en el resultado final para la clasificación de tipos de cielo.

Finalmente, se compararon los coeficientes y porcentajes de ocurrencia de los diferentes tipos de cielo (despejado, parcialmente nublado y nublado) con las mediciones de irradiancia e iluminancia horizontal global, directa y difusa. Esta comparación permitió corroborar los días despejados con la presencia de mayor irradiancia e iluminancia directa, y los días parcialmente nublados con la predominancia de la irradiancia e iluminancia difusa.

¹⁰ Cecilia Guadarrama Gándara, *Luz natural en la arquitectura, aportaciones científicas, tecnológicas y de diseño*, tesis de doctorado, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM, 2017.

Resultados

En la Cuenca de México se observa predominantemente una nubosidad parcial durante la mayor parte del año. Durante los meses de lluvia, que abarcan de mayo a septiembre, se presentan cielos parcialmente nublados, pero con coeficientes de cobertura de nubosidad relativamente bajos, llegando como máximo a 6.93. No se registraron coeficientes altos, por encima de 7.0, ni cielos totalmente nublados (coeficientes de 8.0 a 10.0) en promedio en un horario mensual, lo que indica que no hay presencia de cielos completamente cubiertos a lo largo del año en la Cuenca de México (Figura 2). Sin embargo, durante registros de horarios individuales, se han observado coeficientes altos asociados a cielos completamente nublados, especialmente en el mes de septiembre en el año de estudio (2018), aunque no suelen cubrir una cuarta parte del día (Figura 3). En contraste, los meses de sequía, que abarcan de noviembre a marzo, presentan cielos despejados con coeficientes que van desde 1.0 hasta 3.0.

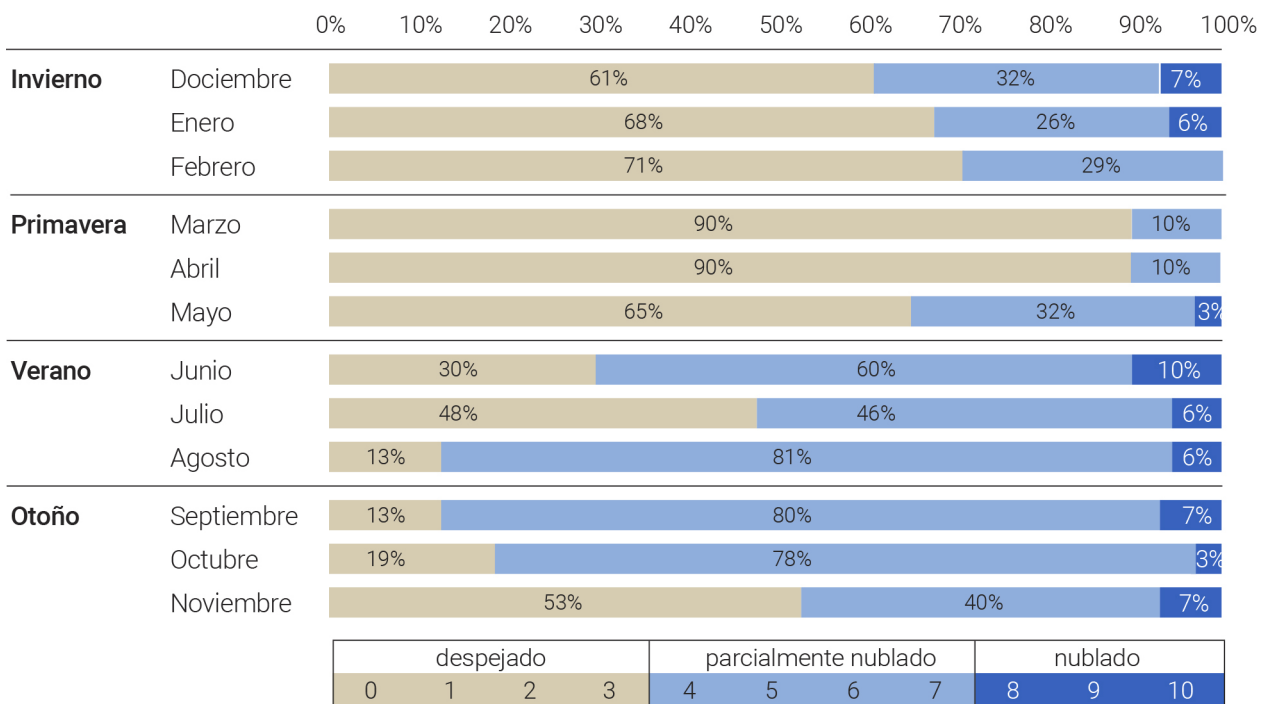
	7:00 - 8:00	9:00 - 10:00	12:00 - 13:00	15:00 - 16:00	17:00 - 18:00
ENE	1.77	2.94	3.45	3.65	3.54
FEB	2.37	2.53	3.28	3.65	3.12
MAR	2.57	2.54	2.50	4.77	3.24
ABR	0.37	0.83	1.41	3.90	3.60
MAY	0.43	0.63	2.97	5.40	4.78
JUN	2.39	2.23	3.39	4.26	4.67
JUL	4.73	4.93	5.07	6.07	6.89
AGO	3.52	3.45	4.18	6.46	6.00
SEP	5.29	5.76	5.25	6.93	6.89
OCT	6.31	5.32	4.37	6.37	6.34
NOV	6.00	5.45	5.35	6.26	6.03
DIC	3.23	3.03	3.40	4.27	5.60

Dentro de la clasificación de cielos parcialmente nublados, los meses de julio y agosto registran coeficientes por encima de 6.0. Durante los meses de abril a octubre los coeficientes se mantienen máximo en 5.0, lo que indica una condición en la que hay presencia de rayos directos del sol principalmente por las mañanas, pero mayor cobertura de nubes por las tardes.

Los porcentajes de ocurrencia de los distintos tipos de cielo a lo largo del año muestran la frecuencia relativa de cada tipo (Figura 4).

Figura 3. Coeficientes de cobertura de nubosidad, promedio horario mensual.

Fuente: Elaboración propia con datos de Cámara de Nubosidad TSI880.



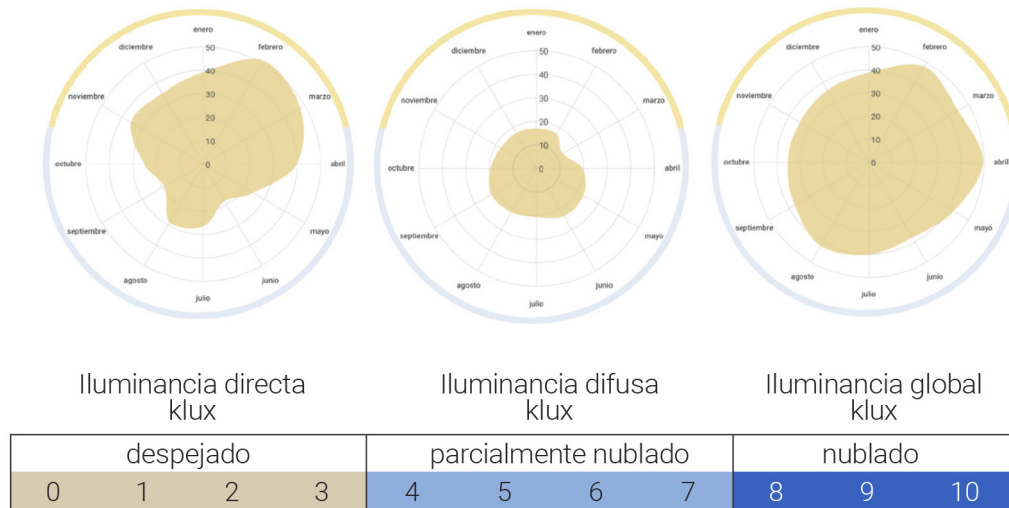
En cuanto a la radiación solar, su dinámica se puede analizar bajo la frecuencia de los tipos de cielo en la región, es importante considerar además de la cantidad de iluminación disponible, el comportamiento y ocurrencia del componente difuso, directo y global de la luz solar.¹¹ Al comparar las mediciones de irradiancia e iluminancia solar horizontal¹² se puede observar una atenuación en los valores respecto a la presencia de nubes. Se demostró que existe una buena correlación entre la cantidad de la luz solar y la frecuencia de tipos de cielo, distintas investigaciones han relacionado estas variables y obtenido correlaciones significativas, identificando las condiciones de cielo predominantes en la región para simular los componentes de la luz natural. Para la Cuenca de México, durante los meses despejados (febrero, marzo y abril), se registran valores más altos de iluminancia directa horizontal, que van desde 40 a 50 klux en un promedio horario mensual. Por otro lado, los valores de iluminancia difusa horizontal son más altos en los meses parcialmente nublados, oscilando entre 20 y 24 klux, debido a la nubosidad en la bóveda celeste (Figura 5).

Figura 4. Frecuencias de tipo de cielo para el año 2018.

Fuente: Elaboración propia con datos de Cámara de Nubosidad TSI880.

¹¹ Richard Kittler y Stanislav Darula, "Occurrence of standard skies during typical daytime half-days", *Renewable Energy*, vol. 33, núm. 3, pp. 491-500, 2008.

¹² Datos obtenidos del Observatorio de Radiación Solar en el instituto de Geofísica de la UNAM en el año 2022.



El valor máximo de iluminancia global horizontal en el año 2018 fue de 95 klux al mediodía en el mes de abril en condiciones despejadas. Los valores más bajos se registraron por las tardes (de 17:00 a 18:00 horas) en los meses de septiembre y octubre, con tan solo 1 klux en condiciones parcialmente nubladas con altos coeficientes de cobertura de nubosidad.

Se compararon los coeficientes y porcentajes de cobertura de nubosidad obtenidos a través del procesamiento de imágenes satelitales con los datos obtenidos en superficie. Se encontró una diferencia del 6.7 % entre los resultados, y aunque los coeficientes difirieron, se mantuvieron dentro del rango característico de cada tipo de cielo.

Los mapas de nubosidad generados a partir de las imágenes satelitales mostraron una mayor concentración de nubes durante las temporadas de lluvia y sequía en comparación con los meses despejados (Figuras 6 y 7). En la Cuenca de México se puede notar que los valles más bajos presentan condiciones despejadas, mientras que en las laderas montañosas del sur, donde se encuentran las montañas más altas de la Cuenca, se observan condiciones completamente nubladas. Las condiciones de nubosidad observados en superficie tienen gran correlación con los mapas representados desde el procesamiento de imágenes satelitales.

Figura 5. Iluminancia horizontal en 2018.

Fuente: Datos medidos por el ORS, Instituto de Geofísica de la UNAM, elaboración y procesamiento de datos propios.

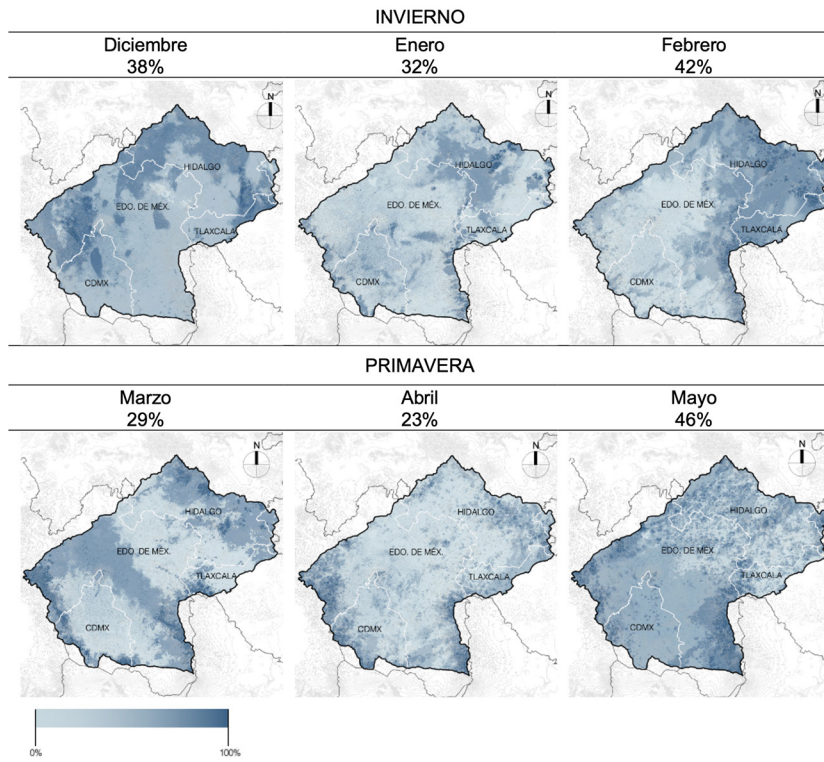


Figura 6. Porcentajes de cobertura de nubosidad en la Cuenca, temporadas invierno y primavera.

Fuente: Elaboración propia con imágenes satelitales procesadas, Sentinel 2.

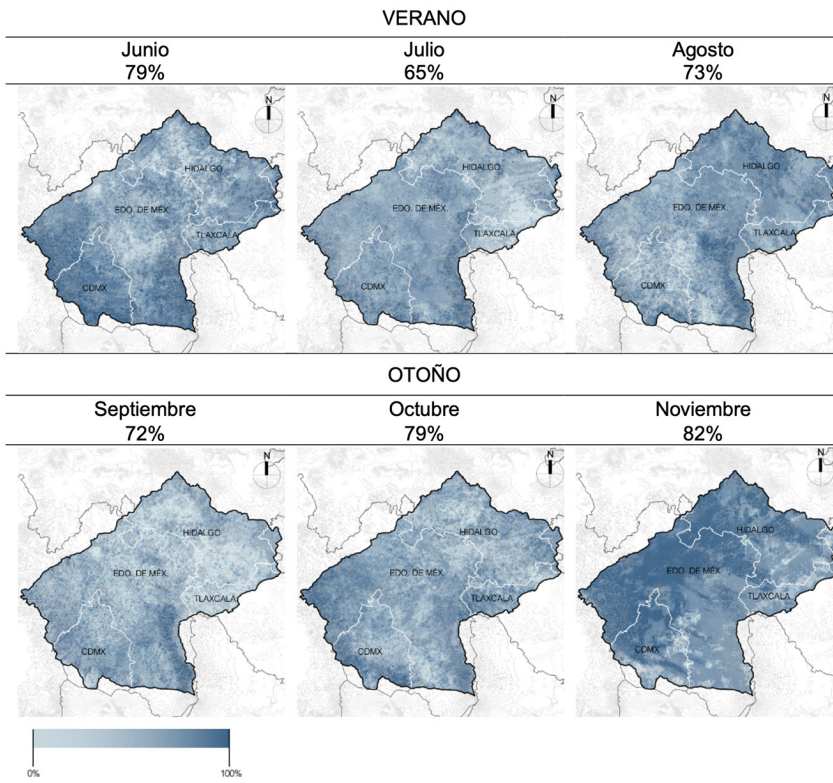


Figura 7. Porcentajes de cobertura de nubosidad en la Cuenca, temporadas verano y otoño.

Fuente: Elaboración propia con imágenes satelitales procesadas, Sentinel 2.

Discusión

La visualización de las imágenes satelitales multiespectrales en mapas ayuda a analizar la distribución y proporción de la nubosidad en una región. En esta investigación se comparó el procesamiento y obtención de coeficientes de nubosidad con imágenes satelitales contra los coeficientes medidos en superficie y se puede establecer una confiabilidad de más del 95% para este método. Al de ser una herramienta de acceso libre, resulta útil para conocer las condiciones de nubosidad de regiones donde no se encuentren observatorios sinópticos o plataformas de medición con equipo especializado.

A través del procesamiento de imágenes satelitales se pueden analizar más condiciones naturales y urbanas, como el monitoreo de crecimiento urbano a lo largo de los años, la presencia de áreas verdes en la ciudad, etc. La interpolación de mapas en capas con información importante del sitio, como densidad de población y vivienda, usos de suelo, densidad de construcción y demás variables de fenómenos sociales, nos puede ayudar a generar un análisis integral de las condiciones naturales y urbanas de un sitio para diseñar estrategias de integración sustentable con el entorno.

Conclusiones

Comprender las condiciones naturales y urbanas de un sitio antes de intervenirlo desde el ámbito urbano o arquitectónico es crucial para satisfacer las necesidades de diseño y abordar de manera adecuada los aspectos del entorno. La respuesta sostenible al entorno será fundamental para establecer las estrategias clave que guiarán el proyecto de principio a fin. En el caso de la Cuenca de México se puede inferir una zonificación que considere diferentes condiciones de cielos despejados o parcialmente nublados, así como diferentes densidades de población y usos de suelo establecidos. Estas variables nos proporcionarán una comprensión más precisa de las necesidades de aprovechamiento de la luz natural, que servirá como base para el diseño orientado a maximizar este recurso lumínico.

En la Cuenca de México, donde las condiciones de cielo despejado y parcialmente nublado son predominantes, es imprescindible aprovechar la componente difusa de la luz natural a lo largo de todo el año especialmente en temporadas de verano y otoño, así como redirigir o bloquear los rayos directos del sol para evitar deslumbramiento en los meses con presencia de cielo despejado en las temporadas de invierno y primavera. Considerar los patrones de nubosidad y la dinámica de la luz natural en diferentes momentos del día y del año permitirá crear espacios más cómodos, saludables y eficientes de una manera sustentable.

Esta investigación complementa las bases científicas que se han obtenido en la UNAM desde el año 2014 con la instalación de la Plataforma de Observación de Luz Natural, referentes a la disponibilidad y dinámica de la luz natural. Es posible ahora comparar la cantidad de recurso lumínico registrado (klux) bajo cada condición de cielo presentada a lo largo del día y del año para conocer el tipo de componente de la luz natural que determinará las estrategias de diseño que cubra las necesidades y requerimientos específicos del sitio.

Se presentan los coeficientes de nubosidad en la Cuenca de México de los primeros cinco años con mediciones disponibles por la Cámara de Nubosidad TSI880 (Figura 2), es importante mantener un registro continuo y monitoreado a lo largo del tiempo para determinar una caracterización progresivamente acertada de las condiciones de nubosidad en la Cuenca de México.

Referencias

ALSHAIBANI, KHALID Y DANNY LI

- 2021 "Sky type classification for the iso/cie Standard General Skies: A proposal for a new approach", *International Journal of Low-Carbon Technologies*, vol.16, núm. 3, pp 921-926, <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctab020>.

AGENCIA ESPACIAL EUROPEA

- 2016 Programa de Observación Copernicus, <<https://www.copernicus.eu/en>>.

BOSCH JUAN, FRANCISCO BATLLES, LUIS ZARZALEJO, Y GABRIEL LÓPEZ.

- 2010 "Solar Resources Estimation Combining Digital Terrain Models and Satellite Images Techniques", *Renewable Energy*, vol. 35, núm. 12, 2010, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.05.011>.

BOUBEKRI, MOHAMED

- 2008 *Daylighting, Architecture and Health: Building Design Strategies*, Oxford: Architectural Press.

CHAIWIWATWORAKUL, PIPAT

- 2011 *Daylighting in the Tropics: Daylight Availability, Sky Luminance Distribution, Daylight Application with Automated Blind*, Sarrebruck: Lambert Academic.

KITTLER, RICHARD Y STANISLAV DARULA

- 2008 "Occurrence of standard skies during typical daytime half-days" *Renewable Energy*, vol.33, núm 3, pp. 491-500.

GARCÍA, IGNACIO, MARIAN DE BLAS Y JOSE LUIS TORRES

- 2020 "The sky characterization according to the CIE Standard General Sky: Comparative analysis of three classification methods", *Solar Energy*, núm 196, pp. 468-483, <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.12.039>.

GUADARRAMA GÁNDARA, CECILIA G.

- 2017 *Luz Natural en la Arquitectura: Aportaciones Científicas, Tecnológicas y de Diseño*, tesis de doctorado, Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, UNAM.

GUADARRAMA GÁNDARA, CECILIA G. Y DANIEL BRONFMAN RUBLI

- 2014 "Sobre luz natural en la arquitectura", *Bitácora Arquitectura*, núm. 29, pp. 76-83.

ILLUMINATING ENGINEERING SOCIETY OF NORTH AMERICA
2000 *The IESNA LIGHTING HANDBOOK*, 9ª ed.

JÁUREGUI, ERNESTO
2000 *Clima de la Ciudad de México*, Plaza y Valdes.

KITTLER, RICHARD, MIROSLAV KOCIFAJ Y STANISLAV DARULA
2011 *Daylight Science and Daylighting Technology*, Nueva York, Springer.

LITTLEFAIR, P. J.
2011 *Site layout planning for daylight and sunlight: A guide to good practice*, 2ª ed, IHS BRE Press.

LOU, SIWEI, DANNY LI Y WENQIANG CHEN
2019 "Identifying Overcast, Partly Cloudy and Clear Skies by Illuminance Fluctuations", *Renewable Energy*, núm. 138, pp. 198-211, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.01.080>.

PHILLIPS, DEREK
2004 *Daylighting: Natural Light in Architecture*, Oxford, Architectural Press.

SKAKUN, SERGII, ET AL.
2022 "Cloud Mask Intercomparison eXercise (cmix): An Evaluation of Cloud Masking Algorithms for Landsat 8 and Sentinel-2", *Remote Sensing of Environment*, núm. 274, <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112990>.

SUÁREZ, ALEJANDRO E., ET AL.
2017 *Suelo para Vivienda de la Población de Menores Ingresos en la Zona Metropolitana del Valle de México*, Facultad de Arquitectura, 1ª ed., UNAM.

Raquel Yerani Cruz Sánchez

Universidad Nacional Autónoma de México, México

raquelyerani@comunidad.unam.mx

<https://orcid.org/0009-0000-4485-5981>

Arquitecta por la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, con estudios en la Universidad Técnica de Múnich y Especialización en Diseño de Iluminación Arquitectónica por la UNAM. Actualmente cursa la maestría en el Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, en el campo de conocimiento de Tecnologías por la UNAM, con el proyecto titulado “Frecuencia de tipos de cielo en la Cuenca de México: Estrategias de iluminación natural en entornos urbanos”. Sus líneas de investigación se centran en el estudio y relación de la luz natural con el espacio público.

Cecilia G. Guadarrama Gándara

Universidad Nacional Autónoma de México, México

ceciguadarrama@fa.unam.mx

<https://orcid.org/0000-0002-1645-7414>

Doctora por el Posgrado de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México con el tema “Luz natural en la arquitectura”. Sus líneas de investigación están enfocadas a la interacción de la luz en el ambiente construido. Es responsable académica de la especialización en “Diseño de iluminación arquitectónica” y del “Laboratorio de iluminación arquitectónica”.

Agradecimientos

Especial agradecimiento al equipo de monitoreo y manejo de la Plataforma de Observación de Luz Natural instalada en el Instituto de Geofísica, y al Observatorio Meteorológico del Colegio de Geografía de la UNAM.