



ISSN: En trámite

ESTUDIOS DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA

• VOL. III •

ENERO-DICIEMBRE 2024 •

PUBLICACIÓN ANUAL DE INVESTIGACIÓN EN DISEÑO

Víctor Armando Fuentes Freixanet

Aníbal Figueroa Castrejón

Compiladores



Universidad Autónoma Metropolitana

Dr. José Antonio de los Reyes Heredia
Rector General

Dra. Norma Rondero López
Secretaría General

Unidad Azcapotzalco

Dra. Yadira Zavala Osorio
Rectora de la Unidad

Mtro. Salvador Ulises Islas Barajas
Secretario de la Unidad

Mtra. Areli García González
Directora de la División de Ciencias y Artes para el Diseño

Dr. Oscar Ochoa Flores
Jefe del Departamento de Medio Ambiente

Consejo Editorial de la División de Ciencias y Artes para el Diseño

Dra. Olivia Fragoso Susunaga (Presidenta) | Mtra. Alma Olivia León Valle (Secretaria) |
Dr. Christof Adolf Göbel | Mtra. Dulce María Lomelí | Mtra. Gabriela García Armenta.

Comité Editorial de la División de Ciencias y Artes para el Diseño

MDT. Gabriel de la Cruz Flores Zamora (Presidente) | Dr. Isaac Acosta Fuentes | Dra. Sandra Rodríguez Mondragón | Dr. Fernando Rafael Minaya Hernández | Mtra. Bárbara Paulina Velarde Gutiérrez

Dra. Gloria María Castorena Espinosa
Editora Responsable

Víctor Fuentes Freixanet y Aníbal Figueroa Castrejón
Compiladores

D. C. G. Miguel Antonio Ramírez Valdivia
Diseño de portada y formación editorial

ESTUDIOS DE ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA. Año 2024, Volumen III. Enero-diciembre de 2024, es una publicación anual editada por la Universidad Autónoma Metropolitana a través de la Unidad Azcapotzalco, División de Ciencias y Artes para el Diseño. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex Hacienda San Juan de Dios, Alcaldía Tlalpan, C.P. 14387, Ciudad de México y Av. San Pablo 420, Col. Nueva el Rosario, Alcaldía Azcapotzalco, C.P. 02128, Ciudad de México. Teléfonos: 55 53189187 y 55 53189189. Página electrónica de la revista: <https://medioambiente.azc.uam.mx/Publicaciones/anuario.html> y dirección electrónica: eab.publicacionanual@gmail.com. Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo de Título No. 04-2022-022513362200-102, ISSN: en trámite, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Gloria María Castorena Espinosa, Fecha de la última modificación: 17 de diciembre del 2024. Tamaño del archivo 19 MB.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor responsable de la publicación. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación, sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

**ESTUDIOS DE
ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA**

VOL. III AÑO 2024

PUBLICACIÓN ANUAL DE INVESTIGACIÓN EN DISEÑO

Índice

- 6 Presentación
- 7 Acceso al Sol y Salud
Requerimientos para usuarios de casa habitación. Caso estudio: Xoco, cdmx
Tania Esther Osorio Meléndez
- 23 Análisis Geoespacial en la Arquitectura Bioclimática: Propuesta de análisis por
sobreposición de capas para determinar Estrategias de Diseño Bioclimático
Gerardo René Aranda Barajas
- 41 Estimación gráfica de temperaturas al año 2100 para ciudades mexicanas y
estrategia de mitigación de cambio climático
Gerardo Velázquez Flores, Víctor Armando Fuentes Freixanet
- 59 La tecnología sustentable de los sistemas de alta eficiencia de iluminación
natural aplicada al diseño y construcción de centros deportivos
Héctor Valerdi Madrigal, Francisco Rojas Caldelas, Jazmín Ovalle Pérez
- 75 Aplicaciones viables y efectivas con luz natural para la preservación de la salud
José Roberto García Chávez
- 93 Valoración de tierra aligerada como alternativa sustentable y su respuesta ante
la humedad por capilaridad mediante ensayos en campo
Jaime Álvaro Pérez Torres
- 113 Implementación del Programa de Inmersión Social en la asignatura de Proyectos
III de la licenciatura de Arquitectura de la Universidad Iberoamericana
Karina Sonia Schwartzman Faerman, Ángeles Eugenia López Herrera
- 135 Software en el diseño bioclimático
Oscar Uriel González Mejía, Héctor Valerdi Madrigal
- 149 Restauración ambiental, social e histórica en el Río Chiquito de Tepotzotlán
Brenda Yazmín Juárez Guerrero, Gloria María Castorena Espinosa

- 165 Conceptos ambientales y de confort en la arquitectura de Luis Barragán
Aníbal Figueroa Castrejón
- 181 Cosecha de agua de lluvia en la ciudad de Chihuahua
Ciclos de precipitación: histórico y anomalías
Estela Peña Hernández, Luis Carlos Herrera Sosa

Presentación

Oscar Ochoa Flores

Jefe del Departamento del Medio Ambiente
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco

Como cada año, presentamos el libro Estudios de Arquitectura Bioclimática, una publicación que, por la diversidad de los temas y las perspectivas con que son abordados, es ya una referencia obligada. Este libro incluye algunos de los temas más relevantes para la arquitectura, la eficiencia energética y la sustentabilidad.

Esta publicación abarca desde conceptos teóricos hasta aplicaciones técnicas y tecnológicas, dando cuenta de la gran variedad de temas que se vinculan con la arquitectura ante las problemáticas actuales de desabasto de energía, crisis de recursos naturales y cambio climático, todas estas como resultado del desarrollo tecnológico de nuestros días.

La División de Ciencias y Artes para el Diseño de la Unidad Azcapotzalco ha sido pionera al establecer un departamento que vincula al diseño y el medio ambiente desde su fundación hace 50 años. En este tiempo se ha demostrado la urgente necesidad de cambiar nuestro enfoque hacia la relación de los recursos naturales y los espacios construidos, confirmando que la generación de conocimiento del diseño alrededor de estos temas es una de las labores fundamentales de los profesores, investigadores, arquitectos y urbanistas.

El Departamento de Medio Ambiente de la Universidad Autónoma Metropolitana continuará trabajando para que los estudios en torno a la arquitectura bioclimática sean incluidos y considerados en la construcción actual y futura en México.

Acceso al Sol y Salud

Requerimientos para usuarios de casa habitación. Caso estudio: Xoco, CDMX

Tania Esther Osorio Meléndez¹

1 Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco
Correo: al2233804765@azc.uam.mx

Resumen

Asegurar la accesibilidad solar en las edificaciones es de suma importancia para la salud y el bienestar humano. Ésta se define como la continua disponibilidad de luz solar directa que posee una edificación, sin obstrucción de otro objeto; edificios, vegetación u otro impedimento (McCann, 2008). En la era actual, donde las personas pasan la mayor parte del tiempo en interiores, se vuelve cada vez más importante considerar el papel de la luz natural en los espacios arquitectónicos. La era digital ha transformado el rol de la vivienda, convirtiéndola no solo en lugares de descanso, sino también en entornos de estudio y trabajo. Este cambio enfatiza la necesidad de una adecuada exposición a la luz solar, ya que juega un papel crucial en el correcto funcionamiento del ritmo circadiano y en la adecuada absorción de vitamina D, además de las condiciones de confort térmico y lumínico. Para lograr cubrir dichas necesidades es crucial que la vivienda cuente con determinadas horas de luz solar para garantizar la habitabilidad de los espacios.

El ritmo circadiano, un reloj biológico interno, regula los ciclos de sueño-vigilia y otros procesos fisiológicos. Está influenciado significativamente por la luz natural, y la exposición a la luz solar ayuda a sincronizar este ritmo, promoviendo una mejor calidad del sueño. Además, la luz solar es una fuente importante para la producción de vitamina D, un nutriente esencial que mejora la salud ósea, la función inmunológica y el bienestar general. La capacidad del cuerpo para producir vitamina D depende de la exposición a los rayos ultravioleta B (UVB) del Sol.

Sin embargo, los requisitos para la accesibilidad solar no son uniformes y pueden variar considerablemente según varios factores. Estos incluyen la ubicación geográfica, como la latitud, que afecta la intensidad y duración de la luz solar; la edad, ya que la eficiencia de la síntesis de vitamina D puede disminuir con la edad; y el tipo de piel, ya que los niveles de melanina influyen en la absorción de UVB. El presente artículo se enfoca específicamente en determinar las necesidades de accesibilidad solar de los residentes de la colonia Xoco en la Ciudad de México. Al considerar estas variables, se busca proporcionar pautas que aseguren los beneficios óptimos para la salud derivados de la exposición a la luz solar para esta población específica.

Palabras clave: Accesibilidad solar, Ritmo circadiano, Vitamina D, Salud humana, Luz solar

Abstract:

Ensuring solar accessibility in buildings is of utmost importance for human health and well-being. It is defined as the continuous availability of direct sunlight that a building receives without obstruction from other objects, such as buildings, vegetation, or other impediments (McCann, 2008). In the current era, where people spend most of their time indoors, it becomes increasingly important to consider the role of natural light in architectural spaces. The digital age has transformed the role of housing, making it not only places of rest but also environments for study and work. This change emphasizes the need for adequate exposure to sunlight, as it plays a crucial role in the proper functioning of the circadian rhythm and the adequate absorption of vita-

min D, as well as thermal and luminous comfort. To meet these needs, it is essential that housing receives certain hours of sunlight to ensure the habitability of the spaces.

The circadian rhythm, an internal biological clock, regulates sleep-wake cycles and other physiological processes. It is significantly influenced by natural light, and exposure to sunlight helps synchronize this rhythm, promoting better sleep quality. Additionally, sunlight is an important source to produce vitamin D, an essential nutrient that enhances bone health, immune function, and overall well-being. The body's ability to produce vitamin D depends on exposure to the Sun's ultraviolet B (UVB) rays.

However, the requirements for solar accessibility are not uniform and can vary significantly depending on various factors. These include geographic location, such as latitude, which affects the intensity and duration of sunlight; age, as the efficiency of vitamin D synthesis may decrease with age; and skin type, as melanin levels influence UVB absorption. This article specifically focuses on determining the solar accessibility needs of the residents of the Xoco neighborhood in Mexico City. By considering these variables, the aim is to provide guidelines that ensure optimal health benefits from sun exposure for this specific population.

Introducción

La luz solar desempeña un papel crucial en la regulación de numerosos aspectos de la salud humana, desde el ciclo de sueño hasta la síntesis de vitamina D, elementos esenciales para el bienestar general. La exposición a la luz solar no solo ayuda a establecer el ritmo circadiano a través de las células ganglionares de la retina, sino que también influye directamente en la calidad del sueño y en la regulación hormonal, lo cual impacta significativamente en la calidad de vida del ser humano.

Según el Instituto Nacional de Cáncer de Estados Unidos el ritmo circadiano o reloj biológico está definido como “el ciclo natural de cambios físicos, mentales y de comportamiento que experimenta el cuerpo en un ciclo de 24 horas”, regula funciones vitales del cuerpo como el sueño, la temperatura corporal, y la secreción hormonal. Este ritmo está intrínsecamente ligado a la exposición a la luz y la oscuridad, y un desajuste en este ciclo puede resultar en una variedad de problemas de salud, incluyendo trastornos del sueño, obesidad y enfermedades metabólicas. (NIH, s.f.)

Cuando el ser humano recibe radiación solar durante las primeras horas del día las células ganglionares de la retina emiten señales al núcleo supraquiasmático para suprimir la producción de melatonina, la hormona encargada de regular el sueño. Esto ayuda a mejorar el estado de alerta y a tener un mayor nivel de energía durante el día. Por el contrario, Al final de la tarde cuando la exposición a la radiación solar disminuye inicia nuevamente la producción de melatonina, lo que prepara al cuerpo para dormir. (Pardo, 2023)

El ojo humano detecta el ciclo de luz y oscuridad en el entorno y ajusta el ritmo circadiano del cuerpo para que el día interno y externo coincidan. Sin ningún acceso a la luz solar, el reloj del cuerpo humano sufre un desajuste, agregando aproximadamente media hora a su ciclo de 24 horas por cada día de oscuridad. La mayoría de las personas comienzan a dejar de funcionar correctamente con tan solo una noche sin dormir; si esto se prolonga por tres noches, el individuo comienza a funcionar muy por debajo de los niveles normales, lo que afecta negativamente su calidad de vida. La cantidad óptima de exposición a la luz solar varía de persona a persona, sin embargo, todos los seres humanos necesitan de la exposición a la luz natural que posee características que no pueden ser reemplazadas por la iluminación artificial, una de éstas es que la iluminación artificial es demasiado tenue durante el día y demasiado brillante durante la noche en comparación con los ciclos naturales de luz y oscuridad (Foster, 2019).

La deficiencia en la exposición a la luz solar no solo altera el ritmo circadiano, sino que también afecta la producción de vitamina D, fundamental para la salud ósea y el funcionamiento del sistema inmunológico. La vitamina D, sintetizada en la piel en respuesta a la radiación solar, juega un papel crucial en la regulación del calcio y el fósforo, previniendo enfermedades como el raquitismo y la osteomalacia.

La deficiencia de vitamina D afecta a cientos de millones de personas en todo el mundo y está considerado como un serio problema de salud pública global. Como lo menciona Sebastian Podlipnik, aproximadamente el 50% de la población entre 18 y 60 años y el 87% de personas mayores de 60 años presentan un déficit de vitamina D. (Podlipnik, s.f.). Aunque en su mayoría no se presentan con regularidad problemas de salud graves como el raquitismo, las formas más leves de déficit de vitamina D son muy frecuentes. (Díez, 2022)

Cuando existe una deficiencia de vitamina D, la absorción de calcio no es suficiente para satisfacer las necesidades del cuerpo, como consecuencia de esto la producción de la PTH (hormona paratiroidea) se incrementa y el calcio es movilizado del esqueleto para mantener niveles normales de calcio en el suero, esto produce una condición llamada hiperparatiroidismo secundario. Otro de los padecimientos que se presentan a causa de la deficiencia de la vitamina D son la debilidad y dolor muscular lo cual incrementa el riesgo de caídas y fracturas de huesos, la deficiencia de esta vitamina a largo plazo puede contribuir a padecer osteoporosis en los adultos mayores.

En la actualidad, muchos individuos pasan la mayor parte del tiempo en interiores, reduciendo su exposición a la luz natural y aumentando el riesgo de deficiencia de vitamina D. Esta situación se agrava con la edad y las diferencias en la pigmentación de la piel, lo que incrementa la importancia de comprender y abordar los factores que influyen en la salud relacionada con la luz solar y la vitamina D.

Desarrollo

La colonia Xoco pertenece a una de las tantas zonas de la Ciudad de México que se encuentra en proceso de redensificación, debido a la alta demanda inmobiliaria. Prueba de ello, es que en esta colonia se construyó el gran complejo Mítikah que inició en 2008 y concluyó en 2012. Se destaca por ser el proyecto inmobiliario contemporáneo más grande de América Latina, que integra: centro comercial, complejo habitacional, oficinas, consultorios y hospital. La Torre Mítikah actualmente es el edificio más alto de Ciudad de México con 267.3 metros de altura y 68 niveles. (MITIKAH, s/f). Edificaciones como esta proyectan grandes sombras en sus alrededores, limitando la accesibilidad solar de construcciones mas pequeñas y del espacio público.

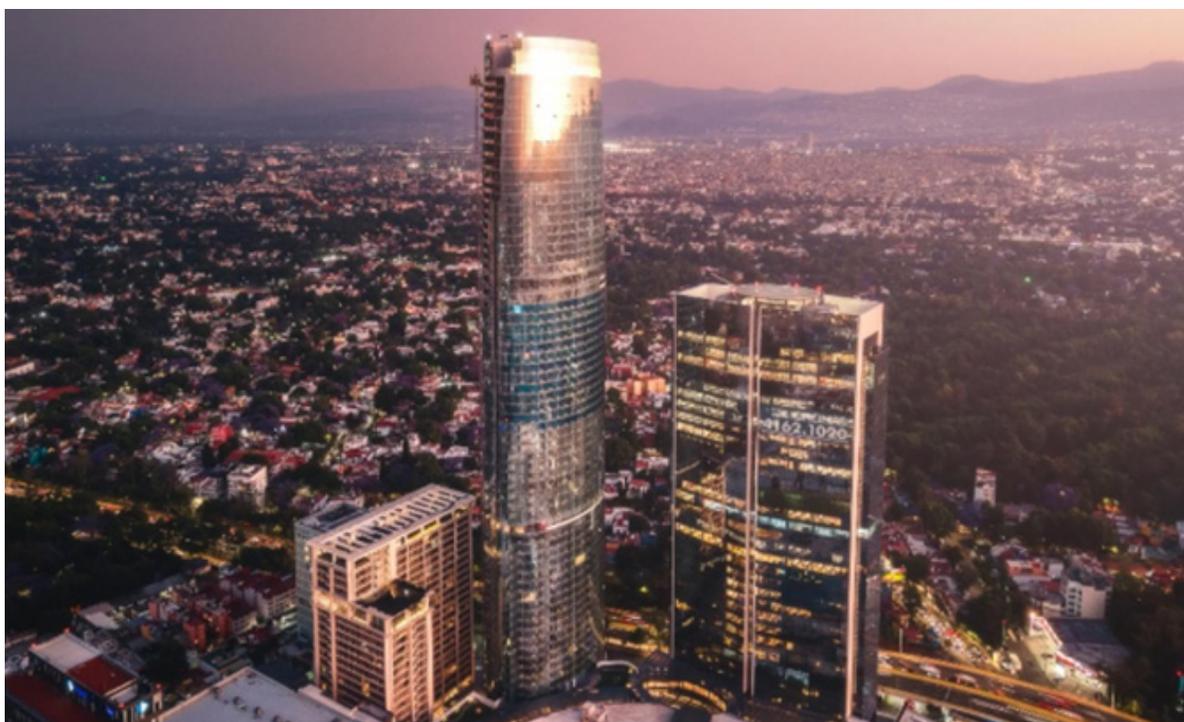


Figura 1. Xoco, Ciudad de México. Fuente: AD Magazine <https://www.admagazine.com/articulos/mitikah-el-centro-comercial-mas-grande-de-latinoamerica>

La colonia Xoco, antiguamente llamado “Pueblo de Xoco”, es un pueblo originario ubicado al sur de la alcaldía Benito Juárez en la Ciudad de México. Colinda al norte con la colonia Sta. Cruz Atoyac, al sur con la colonia Del Carmen, delegación Coyoacán, al este con la colonia General Anaya y al oeste con las colonias Acacias y Del Valle Sur. Se encuentra delimitado al norte por Avenida Popocatepetl, al sur por Avenida Río Churubusco, al este por Avenida México–Coyoacán y al oeste por Avenida Universidad (PUEC-UNAM, 2019). Se ubica en las coordenadas: latitud 19°20’02” norte - longitud 99°07’56” oeste, altitud 2250 msnm.



Figura 2. Delimitación de la colonia Xoco. Elaboración propia – Fuente <https://www.google.com>

Ritmo circadiano

Un punto importante para el correcto aprovechamiento de los beneficios de la exposición al sol es no sobreexponerse a los rayos UV, por lo tanto, no es recomendable pasar periodos prologados bajo el sol sobre todo entre las 10:00 – 16:00 horas. El horario recomendable es durante las primeras horas de la mañana y durante las últimas horas de la tarde, debido a que durante este periodo de tiempo la radiación solar es menor intensa. (Pardo, 2023)

El ritmo circadiano de una persona varía según sus actividades, edad o si es que la persona presenta algún padecimiento de salud mental o física, sin embargo, en general, tratar de exponerse a la luz brillante durante el día y minimizar la luz durante la noche promueve la actividad durante el día y el sueño por la noche, y lleva a un ritmo circadiano más estable. Es recomendable que la hora de exposición a la luz solar sea constante día con día y no se presente más allá de una hora antes que la hora de despertar habitual. (Benca, 2020)

Es importante cuidar el tiempo que una persona está expuesta al sol ya que una exposición prolongada puede sobrepasar la capacidad defensiva de la piel (mecanismos de autoprotección actínica), la cual consiste en formación de melanina, secreción del sudor conteniendo, ácido urocánico y aumento del grosor de la capa córnea. Según lo describe Leonardo Sánchez Saldaña existen distintos fototipos que juegan un papel importante en la capacidad de exposición al sol de una persona. Se define como fototipo a las características físicas de un grupo de personas (color de piel, cabello, ojos) las cuales permiten establecer su grado de sensibilidad al sol y su capacidad de bronceado al estar expuestas a la luz solar directa sin ningún tipo de foto protección (ver figura 3). (Leonardo Sánchez-Saldaña, 2002)

| Clasificación de fototipos según Thomas Fitzpatrick | | | | |
|---|----------------|------------------|--------------------|---------------------------------|
| FOTOTIPOS | QUEMADURAS | BRONCEADO | COLOR PIEL | GRUPOS DE INDIVIDUOS, ETNIAS |
| I | Siempre | No | Muy blanca | Pecosos, pelirrojos, celtas |
| II | Muy fácilmente | Mínimo | Blanca | Nórdico europeo y centroeuropeo |
| III | Fácilmente | Gradual | Ligeramente morena | Cabello rubio/moreno |
| IV | Ocasionalmente | Sí | Morena | Latinos |
| V | Raramente | Intenso y rápido | Muy morena | Árabes, asiáticos, indios |
| VI | Nunca | Máximo | Negra | Negro |

Figura 3. Clasificación de fototipos según Thomas Fitzpatrick. Elaboración propia – Datos obtenidos de Harvard Medical School

Vitamina D

La cantidad de vitamina D necesaria depende de la etapa de vida de cada persona como se muestra en la figura 4.

| Cantidad necesaria de vitamina D según la etapa de vida | |
|---|----------------------|
| ETAPA DE VIDA | CANTIDAD RECOMENDADA |
| Bebés hasta los 12 meses | 10 mcg (400 UI) |
| Niños de 1 – 13 años | 15 mcg (600 UI) |
| Adolescentes de 12 -14 años | 15 mcg (600 UI) |
| Adultos de 19 – 70 años | 15 mcg (600 UI) |
| Adultos mayores de 71 años | 20 mcg (800 UI) |
| Mujeres embarazadas o en periodo de lactancia | 15 mcg (600 UI) |

Figura 4. Cantidad necesaria de vitamina D según la etapa de vida. Elaboración propia – Datos obtenidos de National Institutes of Health <https://ods.od.nih.gov/pdf/factsheets/VitaminD-DatosEnEspanol.pdf>

Existen condiciones que contribuyen en la deficiencia de vitamina D, tales como; condiciones ambientales, vestimenta, medidas de protección solar, pigmentación de la piel y edad. Entre las condiciones ambientales se encuentra la latitud y altitudes, condiciones atmosféricas (contaminación del aire, presencia de nubes) y los cambios estacionales, estos factores afectan la calidad y cantidad de los rayos UVB y por lo tanto la producción de la vitamina D en la piel. El estilo de vestimenta también juega un papel importante en la absorción de vitamina

D, como sucede en países donde las mujeres cubren su cuerpo por motivos religiosos o culturales, esta práctica puede ocasionar que las mujeres obtengan niveles de 25-hidroxivitamina D en el suero por debajo de los 20 ng/mL, y niveles de vitamina D por debajo de los 12 ng/m.

Las medidas de protección solar incluyen las prácticas de protección solar (uso de fotoprotectores, vestir ropas protectoras y sombreros), así como el hábito de limitar la exposición al sol ya sea por evitar deliberadamente los rayos solares o por el propio ritmo de vida de las personas. Todos estos factores obstaculizan la exposición de la piel a la luz solar y por lo tanto se produce una disminución en la vitamina D a menos que haya una ingesta oral adecuada que lo suplemente. Es importante tener en cuenta que con un factor de protección solar (FPS) de 10 reduce la radiación UVB en un 90% (30).

También existen factores biológicos como son la pigmentación de la piel y la edad que influyen en la eficiencia de la síntesis y absorción de la vitamina D. Las personas con una mayor pigmentación en la piel, es decir de complejión oscura, sintetizan menos vitamina D al exponerse a la luz solar que las personas con un color de piel más claro, como se reportó en una encuesta nacional realizada en Estados Unidos donde se encontró que mujeres caucásicas presentaron un promedio de 25-hidroxivitamina D en el suero de 28.1 ng/mL, mujeres México-americanas un promedio de 25-hidroxivitamina D en el suero de 21.6 ng/mL y mujeres afroamericanas un promedio de 25-hidroxivitamina D en el suero de 16.9 ng/mL. Por otro lado, las personas de la tercera edad tienen una menor capacidad para sintetizar la vitamina D en la piel aún cuando se encuentran expuestas a la radiación UVB, además son más propensas a permanecer en interiores la mayor parte del día. (Higdon, 2004).

Resultados

Para el correcto funcionamiento del ritmo circadiano, debido a que la población en el objeto de estudio es predominantemente latina (fototipo IV) se considera un tiempo de exposición de 30 minutos sin algún tipo de fotoprotector para que la persona presente un eritema leve (inflamación superficial de la piel) 24 horas después del tiempo de exposición (ver figura 5). (Leonardo Sánchez-Saldaña, 2002).

| Requerimientos de acceso al sol para usuarios de edificaciones de uso habitacional en la colonia Xoco (fototipo IV) | | |
|---|----------------------|---|
| HORARIO DE EXPOSICIÓN | TIEMPO DE EXPOSICIÓN | OBSERVACIONES |
| Antes de las 10:00 am | 30 min | En caso de que la persona tenga el horario del despertar adelantado o atrasado, para corregirlo, la exposición a la luz solar debe darse máximo 1 hora antes del despertar habitual. El cambio debe ser gradual cada 15 o 30 minutos cada día. La exposición debe ser constante día con día. |
| Después de las 4:00 pm | 30 min | La exposición debe ser constante día con día. |

Figura 5. Requerimientos de acceso al sol para usuarios de edificaciones de uso habitacional en el barrio de Xoco. Elaboración propia

El tiempo necesario de exposición al sol para la correcta absorción de la vitamina D puede determinarse por dos factores: según el fototipo de piel o según el índice UV. Esta consideración es importante ya que una exposición prolongada a la radiación UVB puede contribuir al desarrollo de cáncer de piel. Además, la exposición de la luz solar debe darse sin el vidrio de las ventanas de por medio, (Podlipnik, s.f.) por lo que debe considerarse el tipo de abertura de la ventana.

Según el fototipo de piel

El grupo español de Fotobiología de AEDV desarrolló una tabla para conocer el tiempo de exposición en las horas centrales del día según el fototipo de las personas (ver figura 6), necesario para obtener la dosis mínima de radiación UV para producir eritema y la síntesis de vitamina D correspondiente a la ingesta de 1000 UI.

| Tiempo de exposición al Sol según el fototipo | | | | | | |
|---|--|--------------------------------|----------|---|--------------------------------|----------|
| FOTOTIPO | MÍNIMA DOSIS ERITEMA (mJ/cm ²) | ERITEMA | | MÍNIMA DOSIS VITAMINA D (mj/cm ²) | VITAMINA D | |
| | | TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MINUTOS) | | | TIEMPO DE EXPOSICIÓN (MINUTOS) | |
| | | VERANO | INVIERNO | | VERANO | INVIERNO |
| I | 20 | 21 | 64 | 3.7 | 6 | 17 |
| II | 25 | 26 | 80 | 4.7 | 7 | 21 |
| III | 30 | 32 | 96 | 5.6 | 8 | 25 |
| IV | 45 | 48 | 144 | 8.4 | 13 | 38 |
| V – VI | > 60 | 64 | 192 | >11 | 17 | 51 |

Figura 6. Tiempo de exposición al sol según el fototipo. Elaboración propia – Datos obtenidos de la Academia Española de Dermatología y Venereología <https://www.actasdermo.org/es-recomendaciones-sobre-exposicion-solar-fotoproteccion-articulo-S0001731020301836>

Según el índice UV

Otro método para determinar el tiempo de exposición al sol es utilizando el índice de UV, este método sugiere que se genera más vitamina D en menos tiempo en zonas donde el índice UV es mayor.

En lugares donde el índice UV es mayor o igual a 3 los niveles necesarios de vitamina D se obtienen en tan solo unos pocos minutos de exposición al sol cada día de forma incidental, por ejemplo, con el simple hecho de salir de casa. En lugares con un índice de UV menor a 3 se recomienda un tiempo de exposición de 5 – 30 minutos entre las 12:00 – 15:00 horas al menos tres veces por semana. (Podlipnik, s.f.)

La Ciudad de México se encuentra en una latitud 19°23'26" N lo cual permite recibir radiación solar durante todo el año, además debido a la altitud en la que se encuentra (2252 m) está expuesta a un 20% más de radiación UV respecto al nivel del mar. (SIMAT, s.f.)

El índice UV está definido como una medida de la intensidad de la radiación UV en la superficie terrestre que se expresa como un valor superior a cero, entre más alto es el valor la

probabilidad de sufrir lesiones cutáneas aumentan y el tiempo en que tardan el producirse disminuye. La OMS define el índice UV en una escala del 1 – 11+, sin embargo, en la Ciudad de México se utiliza el 0 para referirse a la ausencia de radiación. Cuando el índice UV supera el valor 11, el riesgo de sufrir daños en la piel en un periodo corto de tiempo es alto. El valor máximo que puede alcanzar la Ciudad de México es equivalente a 15. (SIMAT, s.f.)

El Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) de la Ciudad de México ha desarrollado una tabla en la que se relaciona el fototipo de las personas con el índice de UV y el tiempo máximo de exposición sin algún tipo de protección solar (ver figura 7). (SIMAT, s.f.)

| Relación de fototipo e índice uv | | | | | | | |
|------------------------------------|----------------|--|-------|--------------|---------------|--------|------------|
| Si la radiación ultravioleta es... | y el IUV es... | según tu tono de piel, el tiempo máximo de exposición en minutos, sin protección es: | | | | | |
| | | muy clara | clara | morena clara | morena oscura | oscura | muy oscura |
| BAJA | 1 | 112 | 140 | 175 | 219 | 274 | 342 |
| | 2 | 56 | 70 | 88 | 109 | 137 | 171 |
| MODERADA | 3 | 37 | 47 | 58 | 73 | 91 | 144 |
| | 4 | 28 | 35 | 44 | 55 | 68 | 86 |
| | 5 | 22 | 28 | 35 | 44 | 55 | 68 |
| ALTA | 6 | 19 | 23 | 29 | 37 | 47 | 57 |
| | 7 | 16 | 20 | 25 | 31 | 39 | 49 |
| MUY ALTA | 8 | 14 | 18 | 22 | 27 | 34 | 42 |
| | 9 | 12 | 16 | 19 | 24 | 30 | 38 |
| | 10 | 11 | 14 | 18 | 22 | 27 | 34 |
| EXTREMADAMENTE ALTA | 11 | 10 | 13 | 16 | 20 | 25 | 31 |
| | 12 | 9 | 12 | 15 | 18 | 23 | 29 |
| | 13 | 9 | 11 | 14 | 17 | 21 | 26 |
| | 14 | 8 | 10 | 13 | 16 | 20 | 24 |
| | 15 | 8 | 9 | 12 | 15 | 18 | 23 |

Figura 7. Tiempo de exposición al sol directo en relación al índice UV y fototipo. Fuente <http://www.aire.cdmx.gob.mx/>

El Sistema de Monitoreo Atmosférico (SITAM) cuenta con un programa continuo de monitoreo de los niveles de radiación UV en el cual se registra el índice UV por cada hora. En la Ciudad de México durante todo el año se registra una intensidad de radiación UV de muy alta a extremadamente alta. El mes que presenta menor índice UV corresponde a diciembre con UV 9, los meses que presentan un índice más alto de radiación UV son marzo y abril con UV 16. Las horas de mayor intensidad van de las 11:00 – 16:00 horas. Es importante mencionar que la presencia de nubosidad disminuye la sensación de calor, sin embargo, no disminuye la intensidad de radiación UV.

Debido a que la población en el objeto de estudio pertenece en su mayoría al fototipo IV (grupo de individuos = latino), que el SITAM describe como tono de piel morena clara (se quema con moderación, el bronceado es gradual) y morena oscura (se quema mínimamente, siempre se broncea), el tiempo de exposición según el índice UV se indica en la figura 8.

| Tiempo de exposición a la radiación UV en relación del fototipo y el índice UV (promedio máximo) | | | |
|---|------------------|---|--|
| MES | ÍNDICE UV | FOTOTIPO IV | |
| | | MORENA CLARA (minutos de exposición) | MORENA OSCURA (minutos de exposición) |
| enero | 10 | 18 | 22 |
| febrero | 12 | 15 | 18 |
| marzo | 16 | 12 | 15 |
| abril | 16 | 12 | 15 |
| mayo | 15 | 12 | 15 |
| junio | 14 | 13 | 16 |
| julio | 14 | 13 | 16 |
| agosto | 14 | 13 | 16 |
| septiembre | 15 | 12 | 15 |
| octubre | 13 | 14 | 17 |
| noviembre | 11 | 16 | 20 |
| diciembre | 9 | 19 | 24 |

Figura 8. Tiempo de exposición a la radiación UV en relación del fototipo e Índice UV. Elaboración propia – Datos obtenidos de Meteonorm 8® (periodo 1996 – 2015) y Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT).

Discusión

La accesibilidad solar juega un papel crucial en la planificación urbana y en la calidad de vida de los habitantes. Considerar este aspecto o no este aspecto impacta en la salud y el bienestar de las personas. La falta de acceso solar adecuado puede provocar problemas de salud, además disconfort térmico y lumínico, así como limitaciones en la implementación de tecnologías sostenibles.

Es fundamental que las nuevas edificaciones y los proyectos urbanos sean concebidos con criterios que garanticen un adecuado acceso al sol, tomando en cuenta aspectos como la morfología de las manzanas, la disposición de las calles, la altura de los edificios y las condiciones del terreno. Solo así se podrá asegurar un entorno urbano saludable y confortable para las generaciones presentes y futuras.

En un contexto donde la preocupación por el cambio climático y la transición hacia energías limpias es cada vez más apremiante, el acceso al sol se erige como un derecho fundamental que debe ser protegido y promovido en el diseño y la planificación de nuestras ciudades. Garantizar este acceso no solo contribuirá a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos, sino que también será un paso crucial hacia un desarrollo urbano más sostenible y respetuoso con el medio ambiente. La geometría solar es una herramienta imprescindible que debería ser considerada y aplicada en la elaboración de los planes de desarrollo urbano para poder garantizar que las edificaciones cuenten con el Sol como recurso, y así satisfacer las necesidades de los usuarios en términos no solo de salud, sino también de confort término, lumínico y energético.

Conclusiones

En la figura 9 se especifican los requerimientos de acceso al Sol que deberían tener las viviendas de Xoco para satisfacer las necesidades de los usuarios en términos de salud, específicamente para el ritmo circadiano y vitamina D. Es decir que todas las edificaciones deberían contar con el recurso solar sin que existan obstrucciones en las horas y el tiempo especificado. Dichas especificaciones son específicas para usuarios de vivienda con fototipo IV en la latitud 19°20'02" norte.

| Requerimientos de acceso al Sol para la salud de los usuarios (fototipo IV) | | | | |
|---|----------------------|--|----------------------|--------------------|
| FECHA DE EXPOSICIÓN | RITMO CIRADIANO | | VITAMINA D | |
| | TIEMPO DE EXPOSICIÓN | HORA DE EXPOSICIÓN | TIEMPO DE EXPOSICIÓN | HORA DE EXPOSICIÓN |
| enero | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 18 - 22 min | 12:00 – 3:00 pm |
| febrero | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 15 – 18 min | 12:00 – 3:00 pm |
| marzo | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 12 – 15 min | 12:00 – 3:00 pm |
| abril | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 12 – 15 min | 12:00 – 3:00 pm |
| mayo | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 12 – 15 min | 12:00 – 3:00 pm |
| junio | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 13 – 16 min | 12:00 – 3:00 pm |
| julio | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 13 – 16 min | 12:00 – 3:00 pm |
| agosto | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 13 – 16 min | 12:00 – 3:00 pm |
| septiembre | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 12 – 15 min | 12:00 – 3:00 pm |
| octubre | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 14 – 17 min | 12:00 – 3:00 pm |
| noviembre | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 16 – 20 min | 12:00 – 3:00 pm |
| diciembre | 30 min | Antes de las 10:00 am y después de las 4:00 pm | 19 – 24 min | 12:00 – 3:00 pm |

Figura 9. Requerimientos de acceso al Sol para la salud de los usuarios (fototipo IV). Elaboración propia

En la figura 10 se observa que los requerimientos para el correcto funcionamiento del ritmo circadiano se mantienen constante durante todos los meses del año, sin embargo, los requerimientos para la absorción de vitamina D varían durante el año debido a la variación de índices UV. Los meses con menos requerimiento corresponden a marzo, abril, mayo y septiembre con un máximo de 15 minutos de exposición. El mes con mayor requerimiento corresponde a diciembre con un máximo de 24 minutos de exposición.

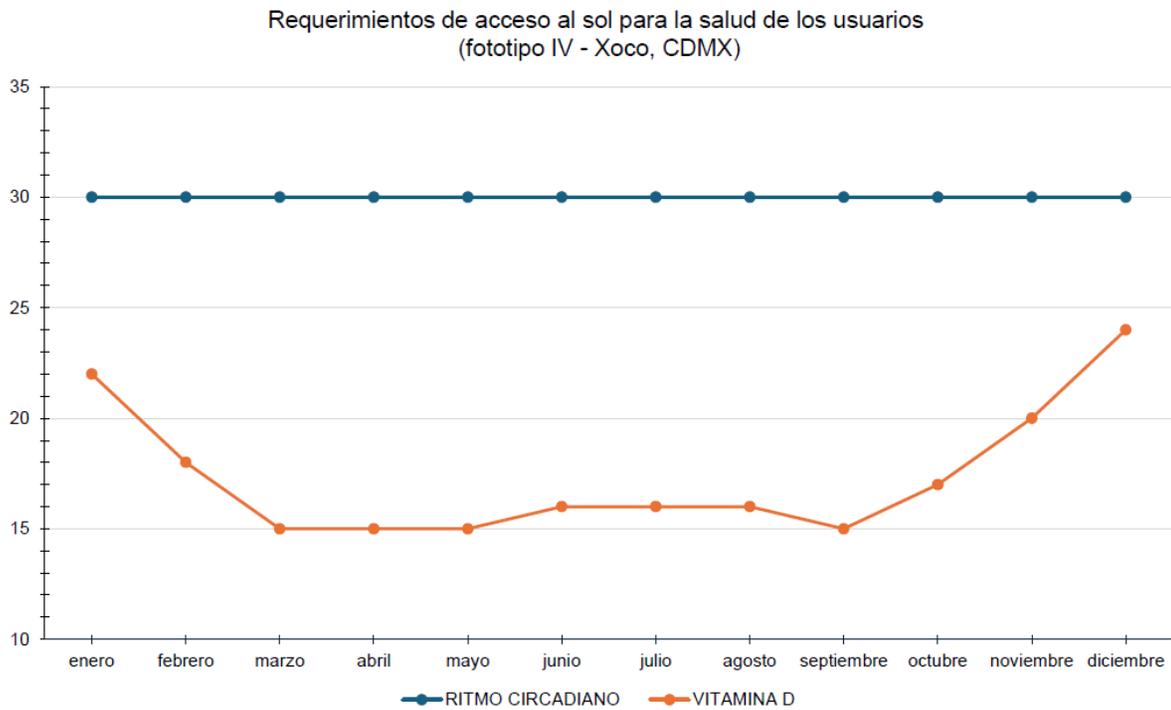


Figura 10. Requerimientos de acceso al Sol para la salud de los usuarios (fototipo IV). Elaboración propia

Referencias

- Aguilera, J. (2020). Recomendaciones sobre exposición solar y fotoprotección del Grupo Español de Fotobiología de la AEDV adecuadas al periodo de desconfinamiento durante la pandemia por SARS-CoV-2. *ACTAS Dermo-Sifiliográficas* Vol. 111. Núm. 9., 799-801.
- Benca, R. (2020). Trastornos del sueño: Una llamada a despertar. *Psychiatric* .
- Díez, J. J. (2022). El sistema endocrino de la vitamina D: fisiología e implicaciones clínicas. *REVISTA ESPAÑOLA DE CARDIOLOGÍA*. Vol. 22. Núm. C., 1-7.
- Foster, R. (2019). Por qué es importante la luz solar para dormir mejor y cómo puede influir en nuestra calidad de vida. *BBC NEWS*.
- Higdon, J. (2004). Vitamina D. Instituto Linus Pauling. Universidad Estatal de Oregon.
- Leonardo Sánchez-Saldaña, P. L. (2002). FOTOPROTECTORES TÓPICOS. *Revista Peruana de Dermatología*. Vol. 12 N° 2.
- McCann, C. (s/n de octubre de 2008). A Comprehensive Review of Solar Access Law in the United States. Solar America Board for Codes and Standards. Estados Unidos de América. Recuperado el 2 de diciembre de 2023, de <http://www.solarabcs.org/about/publications/reports/solar-access/pdfs/solaraccess-full.pdf>
- MITIKAH. (s/f). Mítikah, ciudad viva. Obtenido de <https://www.mitikah.com.mx/contacto.html>
- NIH. (s.f.). Instituto Nacional del Cáncer. Obtenido de NIH: <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/ritmo-circadiano>
- Pardo, S. (2023 de octubre de 2023). Universidad de San Andrés. Obtenido de <https://udesa.edu.ar/noticias/estar-al-sol-hace-bien-cual-es-el-poder-de-la-luz-como-terapia-contra-la-depresion-y-la-ansiedad>
- Podlipnik, S. (s.f.). Sebastian Podlipnik. Obtenido de <https://www.sebastianpodlipnik.com/vitamina-d-sol/>
- PUEC-UNAM. (2019). San Sebastián Xoco Rasgos culturales de un pueblo originario. Recuperado el 3 de diciembre de 2023, de *Materiales de divulgación del Programa Universitario de Estudios sobre la Ciudad*: https://www.puec.unam.mx/pdf/materials_divulgacion/2_San_Sebastian_Xoco_opt.pdf
- SIMAT. (s.f.). Gobierno de la Ciudad de México . Obtenido de *Calidad del aire*: <http://186.96.0.232/aire/default.php?opc=%27ZaBhnml=&dc=%27aA==>

**Análisis Geoespacial en la Arquitectura
Bioclimática:
Propuesta de análisis por sobreposición
de capas para determinar Estrategias de
Diseño Bioclimático.**

Gerardo René Aranda Barajas ¹

1 Profesor investigador del Área de Arquitectura Bioclimática
Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
aranda@azc.uam.mx

Resumen

El diseño bioclimático es un proceso de diseño arquitectónico que sustenta sus objetivos y resultados en el análisis de las condiciones climáticas, de las sensaciones que producen los elementos climáticos sobre los ocupantes, las metodologías de diseño bioclimático como las desarrolladas por Victor Olgyay (2010) y Baruch Givoni (1981), permiten determinar estrategias de diseño a partir de los datos climáticos de un lugar o estación climática en particular, sin embargo, la validez de sus datos se limita a un radio de influencia de aproximadamente 5 kilómetros (referencia 100 y 168 de la Organización Meteorológica Mundial, citado en SMN) dependiendo de las condiciones físicas y geográficas de la zona, como diferencias de relieve, altitud, densidad urbana, etc., por lo tanto, la representatividad de las estrategias determinadas se limitan a condiciones espaciales homogéneas o puntuales a una escala relativamente corta.

El análisis espacial georreferenciado aporta beneficios a la metodología de diseño bioclimático tradicional ya que este análisis no se limita a los valores de una sola estación climatológica, por el contrario, éste se realiza a partir de los datos obtenidos de distintas estaciones de manera simultánea, permitiendo así establecer estrategias de diseño a una mesoescala, gran escala o por regiones del territorio más extensas con características homogéneas determinadas a partir de requerimientos bioclimáticos similares.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) establece que en la atmósfera pueden coexistir varios fenómenos y procesos meteorológicos a distintas escalas, por consiguiente, las necesidades bioclimáticas responden al orden de las observaciones meteorológicas¹ y a su escala de representatividad, la OMM clasifica las observaciones meteorológicas en tres categorías: necesidades mundiales, regionales y nacionales, sin embargo, existen observaciones meteorológicas con escalas más reducidas que cubren necesidades consideradas como microescala que no cubren más de 100 metros o de topoescala (escala local) en donde el máximo nivel de representatividad no supera los 3 kilómetros de distancia horizontal (OMM, 2010), por tal motivo, se considera necesario realizar un análisis bioclimático a una escala más amplia que permita la observación y consideración de condiciones ambientales por regiones y no solamente a una microescala.

En este trabajo se presenta una propuesta de análisis para determinar las propuestas de estrategias de diseño bioclimático que integra elementos de análisis geoespacial a través de la sobreposición de capas, análisis bioclimático utilizando herramientas como la carta bioclimático de Givoni y el método Control Potential Zone (CPZ) desarrollado por Steven Szokolay y Michael Docherty (1999) y el uso de herramientas de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) para finalmente mapear la información ambiental, climática, de confort y las necesidades de sistemas de control pasivo.

¹El objetivo de la observación meteorológica consiste en determinar o estimar el valor de diferentes variables y parámetros físicos que permiten conocer el estado de la atmósfera y preparar análisis, predicciones y avisos meteorológicos, así como la vigilancia del clima (Agencia estatal de meteorología, s.f.)

Abstract

Bioclimatic design is an architectural design process that bases its objectives and results on the analysis of climatic conditions and the sensations produced by climatic elements on the occupants. Bioclimatic design methodologies such as those developed by Victor Olgyay (2010) and Baruch Givoni (1981), However, the validity of their data is limited to a radius of influence of approximately 5 kilometers (reference 100 and 168 of the World Meteorological Organization, cited in SMN) depending on the physical and geographic conditions of the area, such as differences in relief, altitude, urban density, etc., Therefore, the representativeness of the determined strategies is limited to homogeneous or punctual spatial conditions at a relatively short scale.

Georeferenced spatial analysis brings benefits to the traditional bioclimatic design methodology since this analysis is not limited to the values of a single climatological station; on the contrary, it is based on data obtained from different stations simultaneously, thus allowing the establishment of design strategies at a mesoscale, large scale or for larger regions of the territory with homogeneous characteristics determined from similar bioclimatic requirements.

The World Meteorological Organization (WMO) establishes that several meteorological phenomena and processes can coexist in the atmosphere at different scales, therefore, bioclimatic needs respond to the order of meteorological observations and their scale of representativeness, the WMO classifies meteorological observations into three categories: global, regional and national needs, however, there are meteorological observations with smaller scales that cover needs considered as microscale that do not cover more than 100 meters or topo-scale (local scale) where the maximum level of representativeness does not exceed 3 kilometers of horizontal distance (WMO, 2010), for such reason, it is considered necessary to perform a bioclimatic analysis at a broader scale that allows the observation and consideration of environmental conditions by regions and not only at a microscale.

this paper presents an analysis proposal to determine the proposed bioclimatic design strategies that integrates elements of geospatial analysis through the overlay of layers, bioclimatic analysis using tools such as the Givoni bioclimatic chart and the Control Potential Zone (CPZ) method developed by Steven Szokolay and Michael Docherty (1999) and the use of Geographic Information Systems (GIS) tools to finally map the environmental, climatic and comfort information and the needs of passive control systems.

Palabras clave

Análisis geoespacial, Análisis bioclimático, Arquitectura bioclimática, Estrategias de diseño bioclimático, Confort

Keywords

Geospatial analysis, Bioclimatic analysis, Bioclimatic architecture, Bioclimatic design strategies, Comfort.

Introducción

De acuerdo con Ken Yeang (1999) la importancia de realizar un análisis espacial se debe a que existe una permanente dependencia externa del medio edificado como ambiente espacial, esta consideración obliga a comprender que el medio edificado no es un elemento aislado, por el contrario, existe una integración permanente a un medio espacial específico y de acuerdo a sus características ambientales se producen permanentes procesos ecológicos que sirven como fuentes ambientales de insumos materiales y de energía.

Debido a esta integración, es necesario que los proyectistas determinen las condiciones ambientales externas, así como las posibles demandas y exigencias que ejercerá el espacio externo en las edificaciones para plantear propuestas arquitectónicas que den solución a las demandas de confort en los espacios interiores.

La mejor manera de determinar estas demandas en la arquitectura es a través de la utilización de herramientas y metodologías de análisis bioclimático, este proceso de análisis permite comparar las condiciones climáticas existentes con las condiciones de confort deseables.

Cada emplazamiento y sus condiciones climáticas imponen soluciones arquitectónicas particulares y a través de un análisis de diseño bioclimático se pueden proyectar edificaciones sustentables que integren sistemas de control pasivo, estos sistemas deben tomar en consideración los elementos del entorno para que la edificación interactúe con ellos, los regule y responda adecuadamente de manera natural sin requerir energía o recursos externos y así lograr condiciones de confort para sus ocupantes (Figueroa y Fuentes, 2021).

Martin Evans y Silvia De Schiller (1991) mencionan que el estudio del clima no es un fin en sí mismo y que solamente se pueden utilizar los datos climáticos en el diseño arquitectónico cuando se analiza el impacto del clima en el ser humano definiendo el grado de confort o discomfort e identificando las modificaciones deseables para mejorar las condiciones de habitabilidad, bienestar y confort.

En la actualidad, las necesidades de acondicionamiento ambiental en los espacios interiores, han sido satisfechas incorporando mecanismos y técnicas de calefacción, climatización y alumbrado artificial, esta incorporación de mecanismos creció de manera incontrolable, la velocidad a la cual las edificaciones fueron satisfaciendo las necesidades de confort de manera artificial fue desechando velozmente las técnicas pasivas de control ambiental (Coch y Serra, 1995).

En este artículo se presenta un modelo de análisis que integra técnicas, herramientas y procesos metodológicos de análisis espacial, análisis bioclimático y de los sistemas de información geográfica con el objetivo de generar propuestas de estrategias de diseño bioclimático para conseguir condiciones de confort en los espacios interiores utilizando energías y tecnologías pasivas de acuerdo con las condiciones ambientales preexistentes de la zona de emplazamiento seleccionada.

PROCESO METODOLÓGICO

Análisis Geoespacial

La metodología de análisis bioclimático que se presenta se basa principalmente en las propuestas teórico-metodológicas:

- Análisis geoespacial o Geodiseño de Ian McHarg (1969).
- Análisis bioclimático de Baruch Givoni (1981) y de Steven Szokolay y Michael Docherty (1999).

En el año de 1969 el planeador territorial y arquitecto del paisaje Ian McHarg desarrolla una metodología de análisis espacial interdisciplinar conocida como *Geodesign* en donde se discute acerca de la relación que existe entre sociedad, hombre (sic) y la naturaleza; la innovación de este proceso de análisis consistió en que la ecología ocupaba el centro del análisis.

McHarg insistía en que las propuestas de planificación territorial obligadamente deben ser antecedidas por un profundo proceso de evaluación de elementos que constituyen los “valores”² naturales, sociales y urbanos y que por lo tanto determinarán las idóneas o incorrectas decisiones de planificación.

El proceso de análisis que McHarg propone comienza con la identificación de todos los elementos inherentes al territorio y que, necesariamente, afectan o determinan las decisiones del proyecto, estos elementos los clasifica por categorías de acuerdo con su función o naturaleza³.

De la clasificación surgen elementos como el uso del suelo, la geología, la hidrología, los lugares históricos, la pendiente y la vegetación por mencionar algunos.

Todos los componentes que integran el análisis espacial son representados sobre una base geográfica “llana” que comienza a tomar forma de acuerdo con los elementos que se van incorporando, este proceso se realiza a través de la “Sobreposición de Capas”.

² Cuando McHarg hace referencia a los valores se refiere a que son indispensables para la vida o para el ambiente

³ McHarg reconoce que la validez de los datos que utiliza y su posterior interpretación responde específicamente a la fuente de la que son obtenidos, es decir, McHarg recomienda que toda la información debe ser obtenida por procesos científicos de fuentes oficiales y que con ello es poco probable que contengan errores serios.

Al posicionar la última capa de análisis, obtenemos el “mapa” del territorio con todos los elementos existentes y se comienza con el proceso de evaluación de cada una de las ellas y su interacción entre las mismas (figura 1).

De acuerdo con las necesidades establecidas en el proyecto, se evalúa la existencia de los valores restrictivos o adecuados y su idónea combinación intrínseca que permite establecer las áreas que son propicias para alguna actividad o uso específico y aquellas que deben ser protegidas de usos incompatibles por sus características naturales preexistentes.

Figura 1. Análisis del territorio por sobreposición de capas



Fuente: Un clásico imprescindible de Ian L. McHarg (Fariña, 2021)

Aún cuando McHarg desarrolló una propuesta de análisis espacial para la planificación territorial de acuerdo con la aptitud que el mismo territorio impone, se integran objetivos, elementos y variables de análisis que resultan homólogos dentro de las metodologías de Diseño Bioclimático.

Esta compatibilidad de objetivos y elementos permitió que la metodología de McHarg sirva como base metodológica en la primera fase del proceso de Diseño Bioclimático dentro del proceso de análisis espacial y de las condiciones climatológicas existentes.

Análisis Bioclimático

En la arquitectura bioclimática intervienen elementos básicos que deben ser considerados durante todo el proceso de diseño, por consiguiente, la ordenación urbana, la selección de los materiales y el diseño de los espacios interiores son el resultado de la evaluación de los efectos de los valores ambientales sobre las respuestas fisiológicas y sensoriales del ser humano a las condiciones climáticas a las que se encuentra sometido, no solamente a nivel local sino a una escala regional.

Para lograr los objetivos⁴ que la arquitectura bioclimática plantea en el diseño de los espacios arquitectónicos es necesario realizar un análisis minucioso de las condiciones climáticas regionales en función de las necesidades y respuestas psicofisiológicas del ser humano.

Las metodologías de diseño bioclimático comienzan con el análisis climático del sitio de estudio a una escala local, para que exista una validez y representatividad climática de los datos obtenidos no debe existir una distancia superior a 5 kilómetros de donde se genera la información climática hasta el sitio en donde se pretende diseñar o construir arquitectura con un enfoque bioclimático, normalmente el análisis bioclimático se realiza a partir de los datos climáticos que se obtienen de una sola estación climatológica, por lo general se utiliza como fuente de información a la estación más cercana a la zona de estudio, sin embargo, en este trabajo se considera necesario ampliar la escala de análisis espacial a una escala regional con el objetivo de generar proyectos arquitectónicos holísticos y sistémicos en función de las condiciones ambientales regionales y no solamente las locales.

Posterior a esta fase, se determinan las condiciones de confort deseable a través de índices de confort que se basan en la interdependencia de variables climáticas y personales, una vez establecidas las condiciones en donde el equilibrio entre las ganancias y las pérdidas de energía no someterán al cuerpo humano a gastos energéticos excesivos para adaptarse a las condiciones ambientales, se determinan las estrategias de control pasivo o de diseño bioclimático que permitirán lograr estos objetivos.

Las condiciones de confort deseable, las propuestas de control pasivo y las estrategias de diseño bioclimático aplicables se determinan utilizando herramientas y procesos de Análisis Bioclimático.

Las herramientas de análisis bioclimático que se presentan en este trabajo dentro de las fases de análisis climático y de confort son: la carta bioclimática de Givoni (1981) y el proceso metodológico *Control Potential Zone* (CPZ) o la Zona de Control Potencial desarrollado por Steven Szokolay y Michael Docherty en la Nota 5 Análisis climático del *Passive and Low Energy Architecture* (PLEA, 1999).

La carta bioclimática para edificios de Givoni o también conocida como carta psicrométrica se basa en el índice de tensión térmica⁵ para delimitar la zona de bienestar o confort, este método tiene en cuenta las características de la construcción como modificadoras de las condiciones del clima exterior, al generar recomendaciones arquitectónicas paralelamente

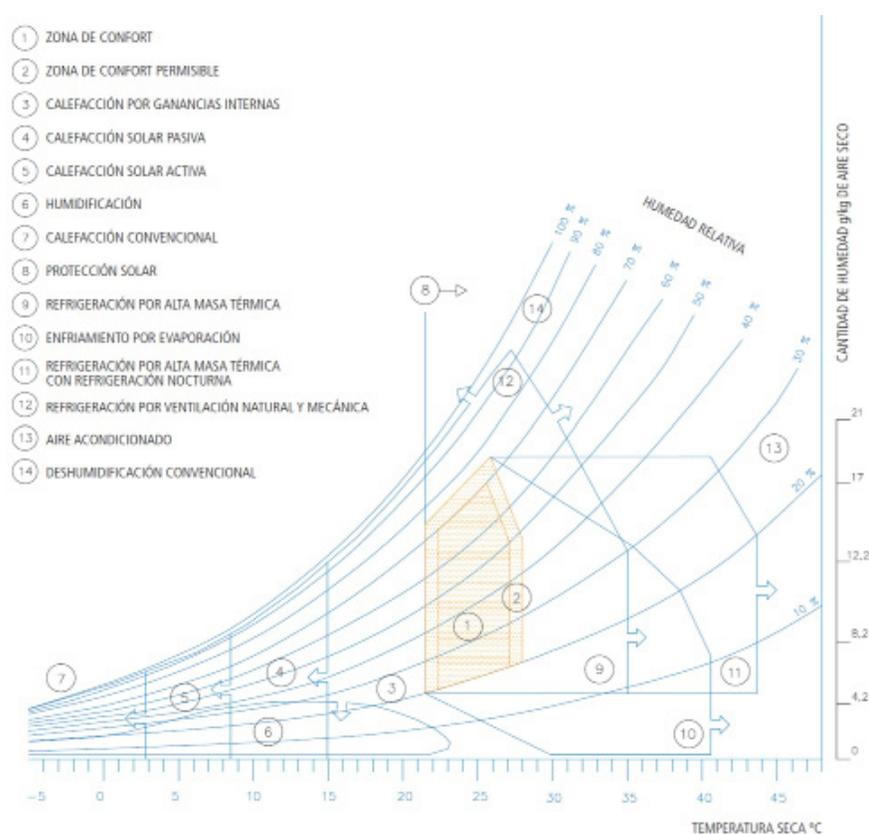
⁴ Los objetivos de la arquitectura bioclimática son: generar espacios arquitectónicos confortables y saludables, hacer un uso eficiente de las energías utilizadas priorizando las de origen renovable y la integración del espacio construido con el medio natural circundante aprovechando los constantes flujos de energía que entre los dos se presentan.

⁵ En el índice de tensión térmica se toman en cuenta los efectos combinados de la temperatura, velocidad del aire, la presión del vapor de agua, el nivel metabólico, la vestimenta y la radiación en los casos de estar expuesto a ella.

se habla de bienestar en el interior de las edificaciones. Dentro de la carta bioclimática se establecen distintas zonas cuyas características de temperatura y humedad⁶ indican la necesidad de utilizar estrategias de diseño bioclimático en la edificación de manera individual o estrategias combinadas (García de Diego, M., Izard A., Jaén, M., 2011) para los periodos fríos o calurosos (figura 2).

El método CPZ permite delinear el rango de condiciones exteriores bajo las cuales la estrategia de control particular puede garantizar el confort térmico interior, de esta manera, la CPZ define la zona de temperaturas y humedades exteriores dentro de la cual la estrategia de control pasivo tiene el potencial de crear condiciones interiores aceptables (Szokolay y Docherty, 1999).

Figura 2. Carta Bioclimática de Givoni



Fuente: Manual de diseño bioclimático para Canarias, 2012

⁶ En la carta bioclimática de Givoni se representan los valores de temperatura y humedad en sus parámetros máximos y mínimos de cada mes, así como los valores medios y la oscilación térmica.

Modelo⁷ de análisis propuesto

La metodología que se presenta plantea un proceso de análisis interdisciplinar que involucra fases, métodos y herramientas de análisis espacial y de análisis bioclimático.

La relevancia de esta propuesta metodológica radica en la utilización de técnicas de análisis espacial que sobreponen capas de elementos espaciales y climáticos existentes en todas las fases de las metodologías de Diseño Bioclimático, desde la primera fase, permite una visión holística y sistémica de los elementos naturales, artificiales y de las zonas susceptibles a intervenir o, por el contrario, a proteger por su importancia y valor ecosistémico a una escala regional.

Las siguientes fases de análisis se establecen a partir de metodologías de la arquitectura bioclimática, se utilizan índices de confort para delimitar las zonas de confort en la carta bioclimática para generar las propuestas de estrategias de diseño bioclimático que permitirán satisfacer las necesidades de confort y la eficiencia en el uso de las energías para conseguirlo.

De manera permanente, esta propuesta busca que la relación armónica entre confort y energía sea conseguida a través de la integración del medio edificado con el medio natural circundante aprovechando los permanentes flujos energéticos que existen entre ambos medios, y, que de ellos echará mano aprovechando sus potenciales para satisfacer las necesidades psicofisiológicas de los ocupantes.

Para lograr el objetivo planteado, esta propuesta metodológica se encuentra estructurada en fases vinculadas:

1. Análisis geoespacial

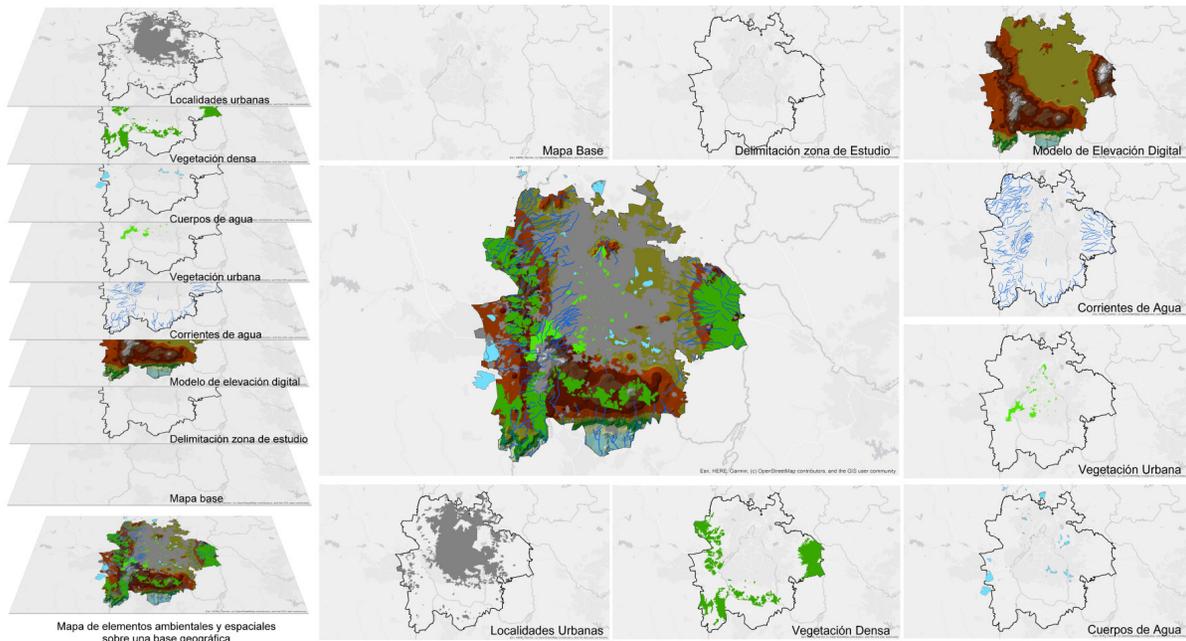
La propuesta metodológica inicia con el análisis geoespacial de las zonas de estudio:

Utilizando elementos ambientales biofísicos⁸ como el relieve, la cobertura vegetal, la urbanización, la pendiente y la altitud se visualizan y analizan las relaciones conjuntas y dinámicas existentes en todos los procesos y factores biofísicos que gestarán y fundamentarán las propuestas de estrategias de diseño bioclimático planteadas (figura 3).

⁷ Un modelo representa la realidad y tiene como objetivo visualizar patrones, prototipos o un conjunto de supuestos teóricos (Caracheo citado en García_Berlanga y Talavera, 2017). Los modelos facilitan el acceso a la información sistematizada integrando modelos matemáticos, metodologías, herramientas de los sistemas de información geográfica (SIG), plataformas digitales como internet y aplicaciones para dispositivos móviles.

⁸ La biofísica es el puente entre la biología y la física, es una disciplina que estudia los principios físicos subyacentes a los procesos de los sistemas vivos, contribuye a la comprensión de los mecanismos que operan en los organismos vivos a partir de los principios generales de la física, la biofísica se encuentra en búsqueda de patrones en la vida para analizarlos y conocer las bases de nuestra propia existencia (UASLP, s.f.).

Figura 3. Procedimiento de análisis del territorio por sobreposición de capas



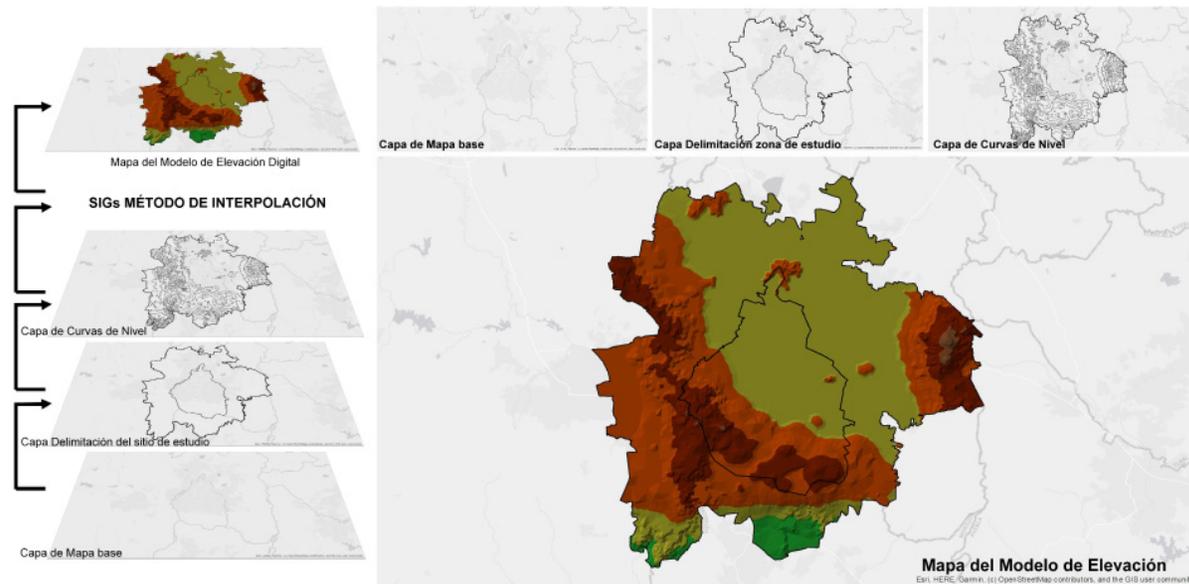
Fuente: Elaboración propia

Inicialmente se plantea la generación de un modelo de elevación digital⁹ (DEM) a partir de los datos de relieve (figura 4), el DEM sirve como base geográfica y espacial para sobreponer las capas de cobertura vegetal y de urbanización, de esta manera, se pueden analizar las relaciones que existen entre las propiedades del territorio, el ser humano y los elementos ambientales sobre una base geográfica inicialmente vacía en la que se representarán todos aquellos elementos o capas consideradas importantes dentro del análisis espacial¹⁰ como las condiciones de relieve, la vegetación, la urbanización, condiciones climáticas, de confort para finalmente generar la última capa de estrategias de diseño bioclimático.

⁹ Un modelo de elevación digital es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo (INEGI, s.f.)

¹⁰ El análisis a través de sobreposición de capas permite la integración de cualquier capa que el desarrollo o los objetivos de la investigación hayan planteado desde el inicio de las fases preliminares.

Figura 4. Propuesta de análisis del territorio por sobreposición de capas



Fuente: Elaboración propia con datos del INEGI

2. Georreferenciación de información climática

Para que exista una relación directa entre la información climática, el territorio, los procesos y los factores biofísicos existentes es necesario que la información se encuentre georreferenciada.

La georreferenciación es un proceso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG)¹¹ que determina una posición espacial en una ubicación geográfica única, esta geolocalización es determinada por un sistema de coordenadas espaciales homólogos al que se encuentra referido.

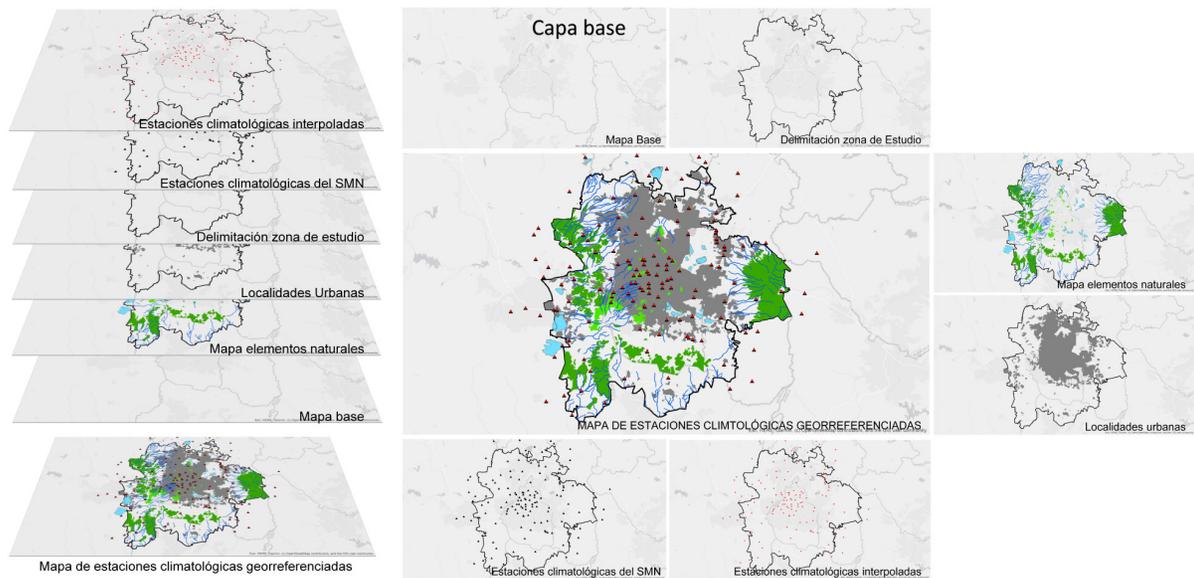
Es recomendable que los valores de los elementos climáticos sean obtenidos directamente de la fuente que los genera, en México, el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) dependiente de la Comisión Nacional del Agua, es la instancia gubernamental encargada de generar y administrar la Red de Estaciones de Superficie de la cual se obtiene la información climática a nivel nacional.

Para tener una validez y representatividad de la información climática, ésta debe someterse a un proceso de georreferenciación de acuerdo con la ubicación geográfica¹² de cada una de las estaciones climatológicas que se utilicen en el análisis climático (figura 5), de no ser así, el diseñador no podrá garantizar la validez, la representatividad climática, y las propuestas de las estrategias de diseño bioclimático podrían no ser las apropiadas para generar confort en el sitio de estudio.

¹¹ Un SIG es un sistema espacial que crea, administra, analiza y representa cartográficamente todo tipo de datos (ESRI).

¹² Latitud, Longitud y Altitud.

Figura 5. Sobreposición de capas Mapa de la Estaciones Climatológicas de Superficie utilizadas.



Fuente: elaboración propia con datos del SMN y del INEGI

La representación de la información climática generada en cada una de las estaciones climatológicas responde a la geoposición de cada una de ellas, esta representatividad se debe a que la información generada es válida y puede ser utilizada de manera correcta de acuerdo con las necesidades particulares de cada proyecto siguiendo los siguientes criterios de representatividad establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMS, 2010):

- a) Microescala (menos de 100 m)
- b) Topoescala o escala local (100 m a 3 km)
- c) Mesoescala (3 km a 100 km)
- d) Gran escala (100 km a 3000 km)
- e) Escala planetaria (más de 3000 km)

3. Construcción de bases de datos climáticos

Con la georreferenciación de las fuentes de información se obtienen los valores de los indicadores climáticos necesarios del lugar a los que se encuentran geoposicionados, en este trabajo los valores fueron obtenidos de las Normales Climatológicas generadas en cada una de las estaciones de la red de superficie del SMN para los periodos más actualizados¹³.

¹³ Las Normales climatológicas del SMN pueden consultarse en la siguiente dirección electrónica: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/normales-climatologicas-por-estado>

En la Red de Estaciones de Superficie existen estaciones climatológicas que actualmente se encuentran suspendidas o ya no existen, ante esta situación no se encuentra información climática actualizada, sin embargo, aún, cuando ya no se encuentran operando existe una gran cantidad de datos históricos principalmente de los periodos 1951-2010.

Sin embargo, si no existen datos climáticos se pueden utilizar softwares especializados como meteonorm® para determinar los valores de los elementos climáticos a través de procesos de interpolación climática¹⁴.

4. Geoprocesamiento de la información

En esta fase se realiza el análisis de la información para determinar las condiciones de confort y generar las propuestas de estrategias de diseño bioclimático:

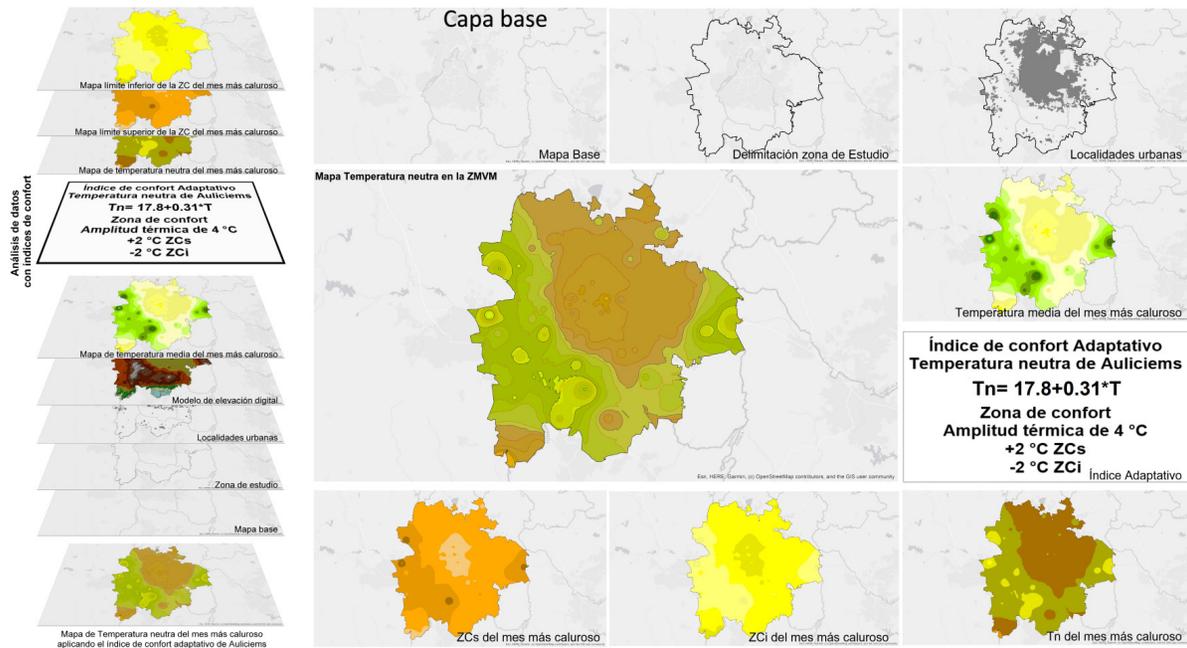
a. Determinación de las condiciones de confort

El índice de confort adaptativo Temperatura neutra desarrollada por Andris Auliciems se utiliza para determinar la temperatura en la cual el ser humano expresa satisfacción con el entorno térmico y ante la pérdida y ganancia de energía requiere un mínimo de gasto energético para adaptarse a las condiciones ambientales existentes, para ello considera variables climáticas promedio del sitio de estudios, sin embargo, a diferencia del análisis bioclimático, el análisis espacial permite ampliar la escala y determinar las condiciones de confort a una escala más amplia (figura 6).

El objetivo fundamental de la determinación de las temperaturas de confort es generar bases de datos de confort, así como mapas para realizar una representación geográfica de las condiciones de confort.

¹⁴ La Red de estaciones climatológicas de superficie se encuentra constituida por poco más de 5400 estaciones, de las cuales solamente cerca de 2800 reportan datos, las restantes dejaron de funcionar o ya no existen (SMN, s.f.) puede consultarse en <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica/informacion-estadistica-climatologica>

Figura 6. Análisis de las condiciones de confort adaptativo por sobreposición de capas a mesoescala



En esta figura se muestra el proceso de sobreposición de capas de los elementos espaciales y climáticos que se utilizan para determinar y elaborar los mapas de las condiciones de confort.

Fuente: Elaboración propia

b. Determinación de las estrategias de diseño bioclimático por sobreposición de capas

En esta fase se utiliza como base teórico-metodológica la carta bioclimática para edificios o carta psicrométrica desarrollada por Givoni, a partir de la carta se determinan las estrategias de diseño bioclimático y los sistemas de control pasivo.

Para representar las condiciones de confort sobre la carta psicrométrica y realizar el proceso comparativo con las condiciones climáticas existentes en los periodos fríos y calurosos se realiza el siguiente procedimiento (figuras 7 a 9):

- I. Se calcula la T_n utilizando la ecuación de confort adaptativo de Auliciems¹⁵.
- II. La Zona de confort (ZC) se establece con una amplitud térmica de 4 °C, es decir, ± 2 °C para el límite inferior (Zci) y límite superior (Zcs) de la T_n respectivamente (Szokolay y Docherty, 1999), para tener una aceptabilidad del 90% de los usuarios en las condiciones de confort dentro de los espacios arquitectónicos los rangos de la zona de confort deberán establecerse con una amplitud térmica de 5 °C, es decir ± 2.5 °C de la T_n (Szokolay y Auliciems, 2007).

¹⁵ $T_n = 17.8 + 0.31 * T_m$, donde T_n es la temperatura neutra y T_m es la temperatura media del sitio de estudio.

Propuesta de análisis por sobreposición de capas para determinar Estrategias de Diseño Bioclimático

III. Los límites inferior y superior de la humedad se determinan de acuerdo con la propuesta de Szokolay y Docherty, es decir, 4 g/kg y 12 g/kg de humedad absoluta.

IV. Sobre la carta psicrométrica se grafican los valores de la Tn así como el Zci y Zcs de la zona de confort sobre la línea que representa el 50% de HR.

V. El valor de la pendiente de la intersección para el Zci y ZCs de la ZC se determina utilizando la ecuación propuesta en la Nota 3 del PLEA (Szokolay y Docherty, 1999):

$$dT=(0.023*T-14)*HA)+T$$

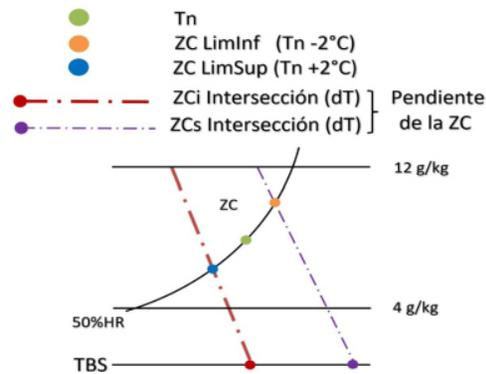
Donde:

dT= Intersección del límite inferior (ZCi) o superior (ZCs) de la ZC

T= Tn-2°C (ZCi) ; Tn+2°C (ZCs)

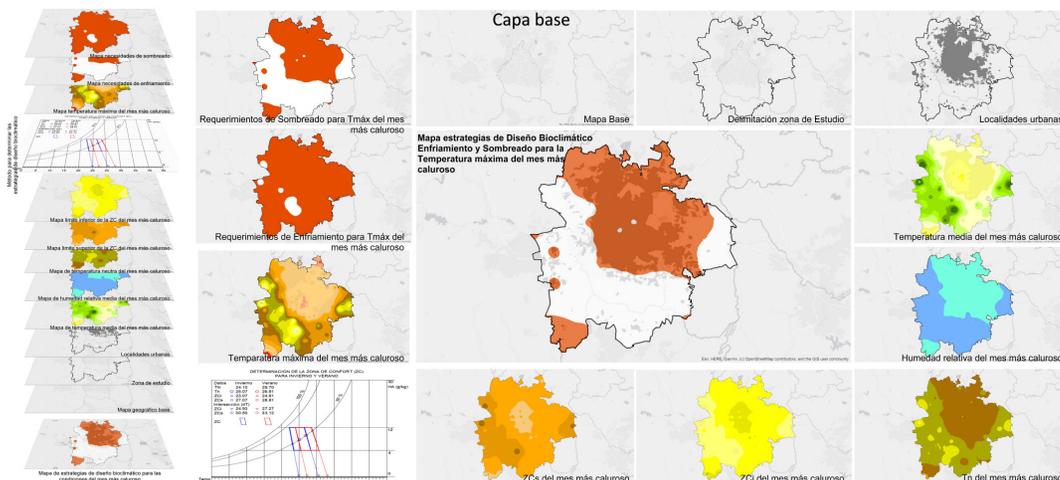
HA= Humedad Absoluta

Figura 7. Determinación de la Temperatura neutra y la Zona de confort sobre la carta psicrométrica



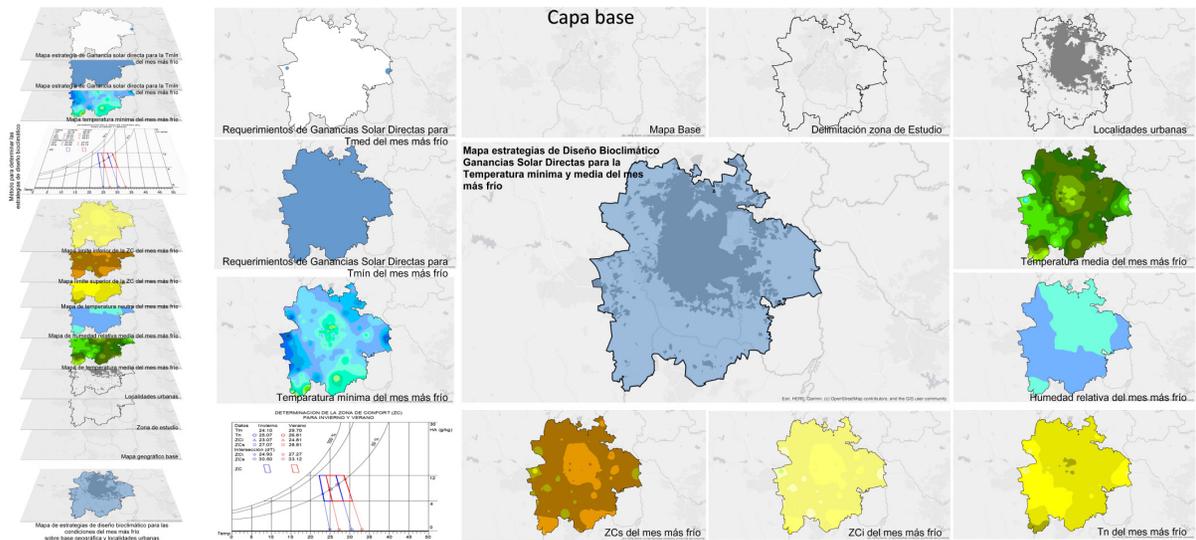
Fuente: Elaboración propia con datos de Szokolay & Docherty (1999).

Figura 8. Determinación de estrategias de diseño bioclimático para el mes más caluroso por sobreposición de capas



Fuente: Elaboración propia.

Figura 9. Determinación de estrategias de diseño bioclimático para el mes más frío por sobreposición de capas



Fuente: Elaboración propia.

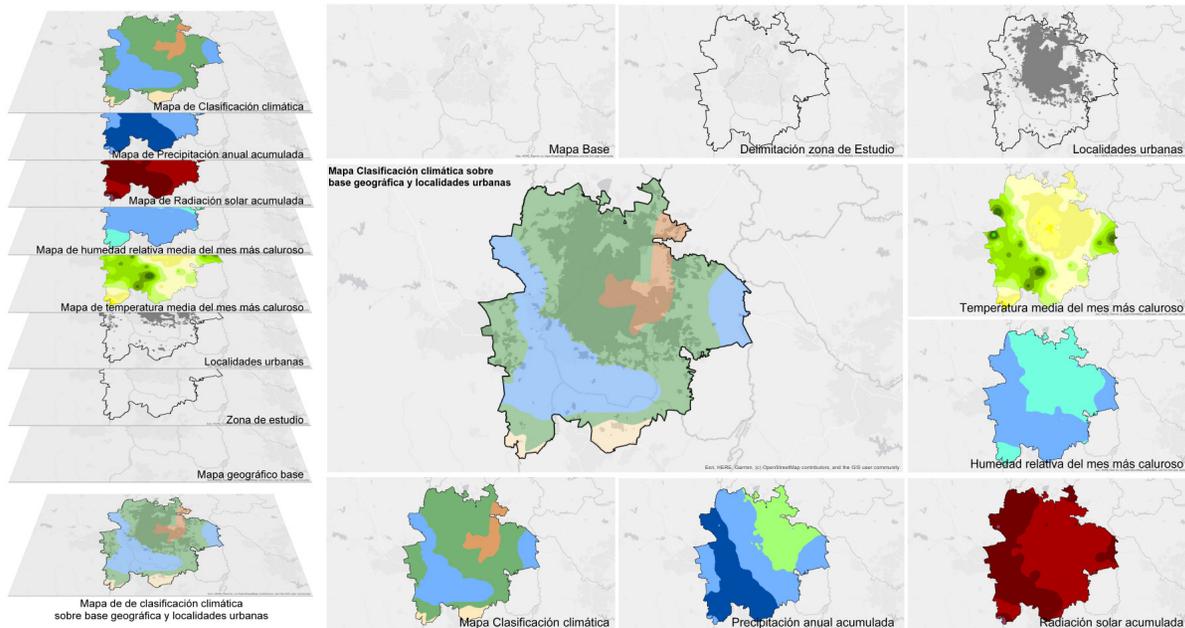
5. Mapeo de información climática

Finalmente, la elaboración de mapas temáticos permite un mejor entendimiento del comportamiento de las condiciones analizadas de una manera muy fiel a la realidad, con el mapeo de la información se pueden determinar soluciones a la problemática y a las condiciones que plantea el sitio analizado, una de las grandes ventajas del mapeo de la información es precisamente su capacidad de comunicación y gestión en la toma de decisiones arquitectónicas de acuerdo con las necesidades que cada sitio plantea.

Las técnicas y métodos de los Sistemas de Información Geográfica aplicados a la arquitectura permiten realizar mapas temáticos de las condiciones climáticas, de confort y de las estrategias de diseño bioclimático no solamente a nivel local sino a nivel regional.

Utilizando los SIG se logra integrar y conectar en mapas temáticos datos de ubicación, información geográfica y climática para representar cartográficamente las relaciones que existen y así poder comprender los patrones e implicaciones de los procesos biofísicos en un contexto geográfico, el mapeo de la información se realiza en distintas fases de acuerdo y en respuesta con los distintos propósitos planteados desde las fases preliminares (figura 10), por ejemplo, se realizan mapas de clima, de confort y de estrategias de diseño bioclimático o cualquier mapa que satisfaga los objetivos o las necesidades de información utilizada.

Figura 10. Mapa de clasificación climática por sobreposición de capas.



Para la construcción de este mapa se utilizaron capas de puntos, líneas y polígonos como el mapa base, polígonos de la zona de estudio, de urbanización, de vegetación, de temperatura y precipitación para finalmente construir un mapa de clasificación climática en donde intervienen todos los elementos antes mencionados.

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El análisis geoespacial por sobreposición de capas presenta un proceso de desagregación de elementos espaciales desde una mesoescala a unidades espaciales locales o regionales, este análisis contribuye a generar un proceso de visualización y análisis de los patrones existentes determinados por elementos ambientales biofísicos como el relieve, la cobertura vegetal, la urbanización, la pendiente y las condiciones climáticas.

La sobreposición de capas geográficas permite que los planeadores y diseñadores obtengan un primer entendimiento sistémico y holístico de las condiciones geoespaciales del sitio de estudio.

Tanto los productos, como el conocimiento desarrollados desde las metodologías de análisis espacial se integran como aportación al campo del Diseño y en especial al campo del Diseño Bioclimático, la información y las herramientas desarrolladas sirven como aporte en el análisis, principalmente en las primeras fases del diseño arquitectónico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Auliciems, A. (1981). Towards a Psycho-Physiological Model of Thermal Perception. *Int. J. Biometeor.* 1981, vol. 25, number 2, pp. 109-122.
- Docherty, M. y Szokolay, S. (1999). Note 5 Climate Analysis. Australia: Passive and Low Energy Architecture International (PLEA).
- Evans, M. y de Schiller, S. (1991). *Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar* (2da ed.). Argentina: Universidad de Buenos Aires.
- Figuroa, A. y Fuentes, V. (2021). *Arquitectura Bioclimática y Geodiseño; nuevos paradigmas*. Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco. México.
- García de Diego, M., Izard, A., Jaén, M. (2011). *Sostenibilidad energética de la edificación en Canarias, Manual de diseño. Parte II Manual de diseño bioclimático para Canarias Bloque IV, Clima y Confort Térmico*. Instituto Tecnológico de Canarias. España.
- Givoni, B. (1981). *Man, Climate and Architecture* (2da ed.). Inglaterra: Applied Science Publishers LTD.
- Instituto de Estadística y Geografía [INEGI] (s.f.). *Modelos Digitales de Elevación (MDE) – Descripción*. INEGI. México.
- Ken, Y. (1999). *Proyectar con la naturaleza Bases ecológicas para el proyecto arquitectónico*. España: Gustavo Gili.
- McHarg, I. (1969). *Proyectar con la Naturaleza*. Ed. Gustavo Gilli. España.
- Olgay, V. (2010). *Arquitectura y Clima* (1ª ed. 6ª tirada). España: Gustavo Gili.
- Organización Meteorológica Mundial [OMM] (2010). *OMM-Nº488 Guía del sistema mundial de observación*. Suiza.
- Serra, R. y Coch, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Szokolay, S y Auliciems, A. (2007). Note 3 Thermal Comfort. 2ª edición. Australia: Passive and Low Energy Architecture International (PLEA).

Páginas de internet

- Agencia Estatal de Meteorología [AEMET]. (s.f.). Observación Meteorológica, puede consultarse en línea en la siguiente dirección electrónica: <https://www.aemet.es/es/idi/observacion#:~:text=El%20objetivo%20de%20la%20observaci%C3%B3n,realizar%20la%20vigilancia%20del%20clima>.
- Meteorológico Nacional. Estaciones Meteorológicas Automáticas. Consultado en septiembre de 2024. Puede consultarse en <https://smn.conagua.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

Estimación gráfica de temperaturas al año 2100 para ciudades mexicanas y estrategia de mitigación de cambio climático

Gerardo Velázquez Flores¹

Víctor Armando Fuentes Freixanet

1 Profesor en Universidad Iberoamericana, Ciudad de México
Correo electrónico: gerardo.velazquez@ibero.mx

Resumen

En este artículo se propone un método de aproximación gráfica de temperaturas para los años 2030, 2050 y 2100 para ciudades en México. Esta aproximación pretende crear conciencia del problema del cambio climático en el contexto nacional, utilizando las estimaciones de los escenarios de sobrecalentamiento del IPCC ¹ con el método mencionado, aplicándolas a las principales ciudades en la república mexicana. De esta manera se obtienen temperaturas de bulbo seco medias, máximas y mínimas para los años mencionados.

Las temperaturas obtenidas con el método de aproximación gráfica propuesto fueron validadas con el Software Meteonorm haciendo una interpolación de valores a partir de los escenarios más cercanos.

Este trabajo se basa principalmente en los resultados del sexto reporte de evaluación del grupo de trabajo tres (WGIII) del IPCC emitido en 2022. (IPCC. WMO-UNEP, 2022) y el reporte síntesis del 2023 (Calvin et al., 2023).

Finalmente, este artículo aborda la importancia del planteamiento de protecciones solares adaptativas y optimizadas para ventanas o envolventes de las edificaciones, como una medida de mitigación para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera en apoyo contra el cambio climático para el momento actual y la indispensable necesidad y relevancia que adquirirá para escenarios futuros.

Abstract

This paper proposes a graphical approximation method for temperatures for the years 2030, 2050 and 2100 for cities in Mexico. This approximation aims to raise awareness of the problem of climate change in the national context, using the estimates of the IPCC overheating scenarios with the aforementioned method, applying them to the main cities in the Mexican Republic.

In this way, mean dry bulb temperatures, maximum and minimum temperatures are obtained for the mentioned years.

The temperatures obtained with the proposed graphical approximation method were validated with the Meteonorm Software by interpolating values from the closest scenarios.

This work is mainly based on the results of the sixth assessment report of the IPCC working group three (WGIII) issued in 2022. (IPCC. WMO-UNEP, 2022) and the 2023 synthesis report (Calvin et al., 2023).

Finally, this article addresses the importance of the approach of adaptive and optimized solar shading devices for windows or building envelopes, as a mitigation measure to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere against climate change, and the indispensable need and relevance that it will acquire for future scenarios.

¹ IPCC Por sus siglas en inglés *Intergovernmental Panel of Climate Change*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático.

Palabras clave

Cambio climático, Proyección de temperaturas a 2100 en México, Mitigación cambio climático, Temperaturas de escenarios futuros, Método de aproximación gráfica.

Desarrollo de la investigación

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático emitió la tercera parte del reporte de la sexta evaluación (AR6) realizado en el grupo de trabajo III en 2022. El reporte muestra que las emisiones de gases de efecto invernadero están en sus niveles máximos en la historia del ser humano, acciones urgentes inmediatas y profundas son necesarias desde todos los sectores para limitar el calentamiento global a 1.5° C. (IPCC. WMO-UNEP, 2022)

En el informe del grupo tres de trabajo (AR6 WGIII) se evalúa una amplia gama de modelos de emisiones globales que incluyen caminos y escenarios con y sin mitigación. Los escenarios de emisiones proyectan la evolución de las emisiones de GEI ² basadas en un conjunto de supuestos sobre las condiciones socioeconómicas futuras y las medidas de mitigación relacionadas. Son proyecciones cuantitativas, no predicciones ni pronósticos, aclara el reporte.

A grandes rasgos, las categorías de escenarios se definen por su probabilidad de superar los niveles de calentamiento global (en el pico y en 2100) en comparación con la etapa preindustrial:

- Con algunas variaciones, La **categoría C1 y C2** comprenden escenarios que limitan el calentamiento a **1.5 °C** para 2100.
- La **categoría C3** comprende escenarios modelados que limitan el calentamiento máximo a **2 °C**.
- Las **categorías C4, C5, C6 y C7** comprenden escenarios modelados que limitan el calentamiento a **2 °C, 2.5 °C, 3 °C, 4 °C** respectivamente.
- La categoría C8 comprende escenarios modelados que exceden el calentamiento de 4 °C.

El reporte síntesis emitido en 2023 (IPCC et al., 2023), muestra comparativamente los escenarios considerados en los diferentes reportes Cx, SSPx-y, RCPy ³, como se ve en la Tabla 1.

² GEI=Gases de Efecto Invernadero

³ C Category, SSP Shared Socioeconomic Pathways y RCP Representative Concentration Pathways.

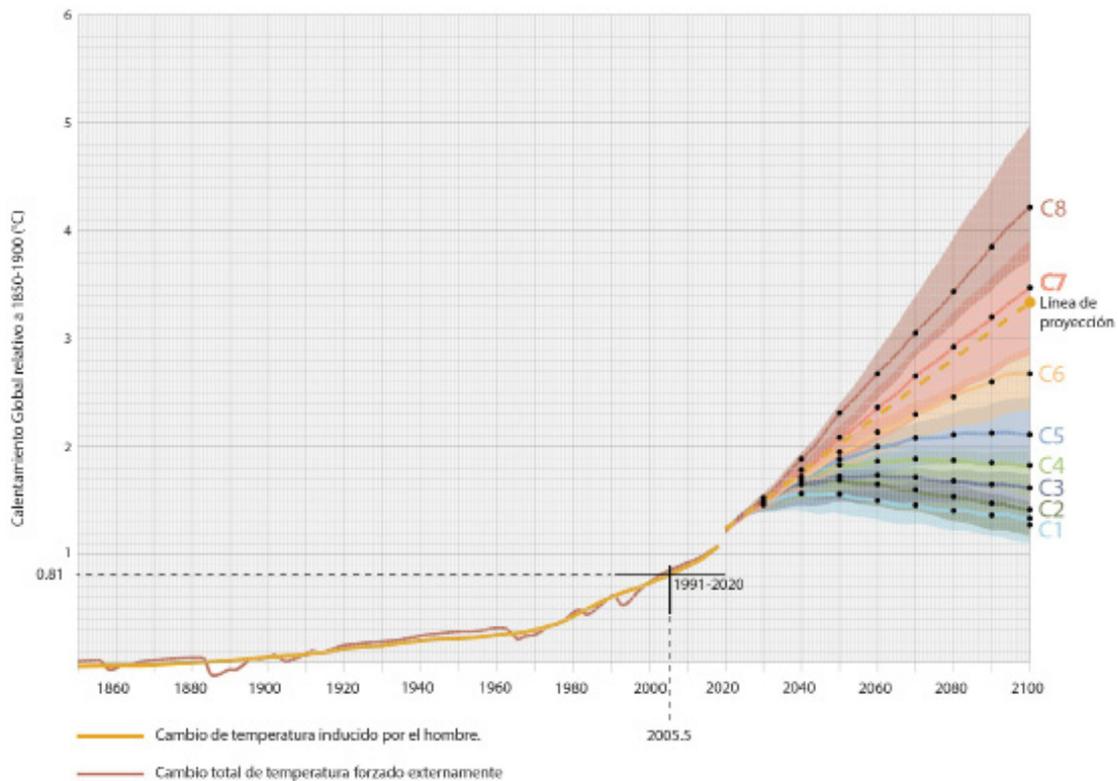
Box SPM.1, Table 1: Description and relationship of scenarios and modelled pathways considered across AR6 Working Group reports. {Cross-Section Box.2 Figure 1}

| Category in WGIII | Category description | GHG emissions scenarios (SSPx-y*) in WGI & WGII | RCPy** in WGI & WGII |
|-------------------|---|---|----------------------|
| C1 | limit warming to 1.5°C (>50%) with no or limited overshoot*** | Very low (SSP1-1.9) | |
| C2 | return warming to 1.5°C (>50%) after a high overshoot*** | | |
| C3 | limit warming to 2°C (>67%) | Low (SSP1-2.6) | RCP2.6 |
| C4 | limit warming to 2°C (>50%) | | |
| C5 | limit warming to 2.5°C (>50%) | | |
| C6 | limit warming to 3°C (>50%) | Intermediate (SSP2-4.5) | RCP 4.5 |
| C7 | limit warming to 4°C (>50%) | High (SSP3-7.0) | |
| C8 | exceed warming of 4°C (>50%) | Very high (SSP5-8.5) | RCP 8.5 |

Método de aproximación gráfica

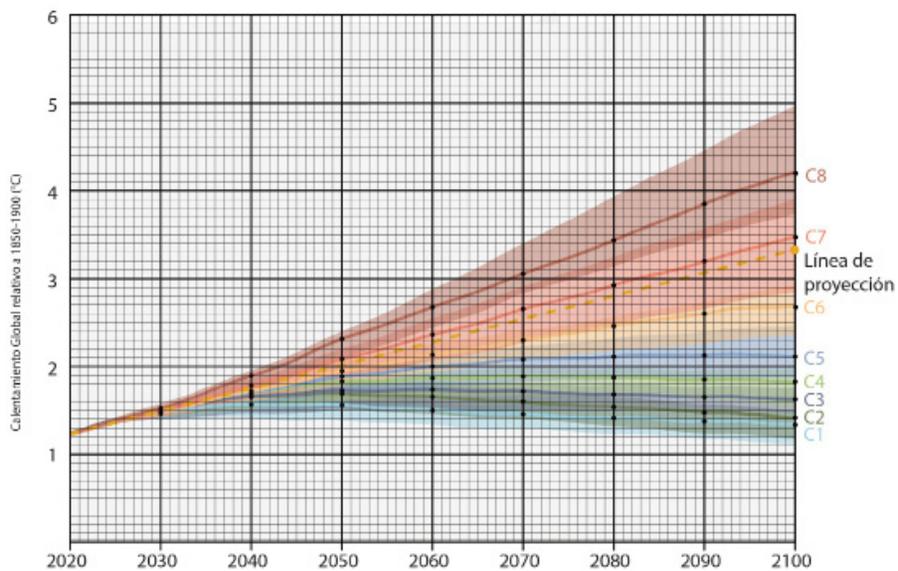
Los gobiernos de los países en el mundo no están haciendo lo suficiente para contrarrestar el cambio climático y no se han alcanzado las metas fijadas en las reuniones cumbres de las partes, por lo que una probabilidad viable sería pensar que continuará la tendencia ascendente de la curva del calentamiento global como se ve en la Gráfica 1. esta aproximación gráfica simplemente continúa las temperaturas encontradas en la última década pasando por el punto medio de los escenarios al 2030, prolongando la curva de manera lineal. Dicha línea de proyección (línea amarilla punteada) se ubica muy cerca del escenario C7 como se puede apreciar.

Estimación gráfica de temperaturas al año 2100 para ciudades mexicanas y estrategia de mitigación de cambio climático



Gráfica 1. Integración de diferencia de temperaturas desde 1900 hasta 2100 con línea de proyección generada con el método de aproximación gráfico. Elaboración propia

Con el fin de tener un estimado de este sobrecalentamiento de los escenarios Cx, se obtuvieron gráficamente los datos del sobrecalentamiento cada década como se ve en la Gráfica 2, y se tabula en la Tabla 2.



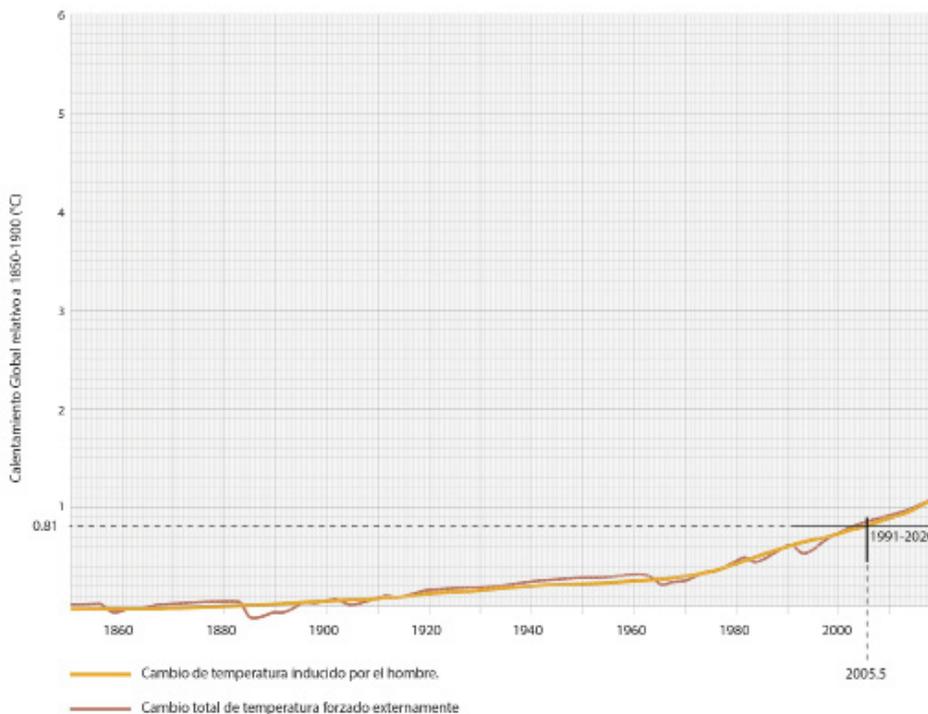
Gráfica 2. Escenarios C1-C8 tabulados con línea de proyección. Elaboración propia basado en IPCC.

Tabla 2. Aumento de temperaturas de los diferentes escenarios C1-C8. Elaboración propia basado en IPCC

| Temperaturas de escenarios de Calentamiento Global C1 a C8 (aumento considerado a partir de 1990) | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
| 2030 | 1.46° | 1.46° | 1.46° | 1.46° | 1.46° | 1.47° | 1.48° | 1.53° |
| 2040 | 1.57° | 1.65° | 1.66° | 1.69° | 1.70° | 1.72° | 1.79° | 1.90° |
| 2050 | 1.56° | 1.69° | 1.72° | 1.83° | 1.88° | 1.95° | 2.08° | 2.32° |
| 2060 | 1.50° | 1.65° | 1.73° | 1.87° | 2.00° | 2.13° | 2.37° | 2.67° |
| 2070 | 1.46° | 1.60° | 1.72° | 1.88° | 2.08° | 2.30° | 2.66° | 3.06° |
| 2080 | 1.41° | 1.53° | 1.68° | 1.87° | 2.11° | 2.47° | 2.93° | 3.43° |
| 2090 | 1.38° | 1.48° | 1.65° | 1.86° | 2.12° | 2.60° | 3.20° | 3.47° |
| 2100 | 1.33° | 1.42° | 1.63° | 1.83° | 2.11° | 2.68° | 3.48° | 4.20° |

La casilla con el color naranja indica el punto máximo o pico de temperatura para ese escenario.

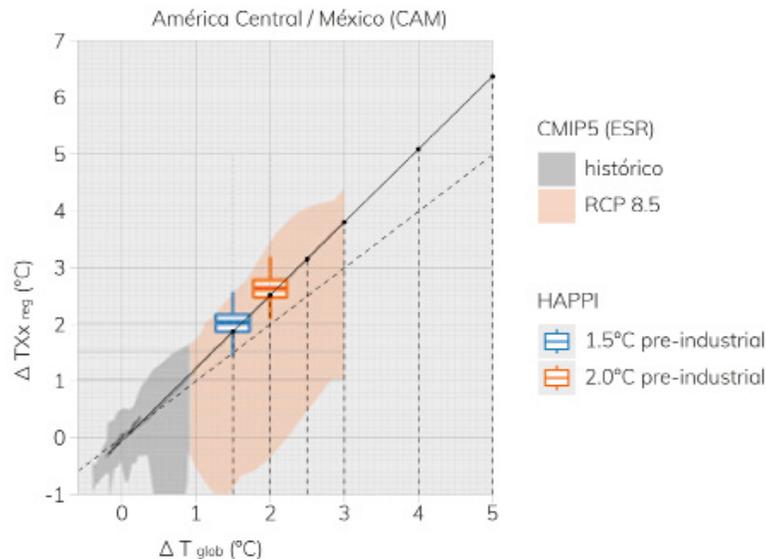
Para aplicar estos valores a las temperaturas de las normales climatológicas de la CONAGUA, se realizó el ajuste mostrado en la Gráfica 3, el cual es la diferencia de temperaturas entre el período preindustrial (1900) y el promedio de temperaturas de las normales climatológicas de la CONAGUA de 1991 a 2020. Este ajuste es de 0.81 °C, el cual se restará del incremento de temperatura de los escenarios del IPCC (C1-C8).



Gráfica 3. Aumento de temperatura desde 1900 a la fecha (Elaboración propia con datos del IPCC)

Además del incremento global de temperaturas, las temperaturas máximas diarias tendrán un incremento adicional considerable, según el reporte completo emitido por el IPCC “Global Warming of 1.5 °C”, el cual muestra proyecciones sobre cambios en temperaturas máximas diarias (TXx) como una función del sobrecalentamiento global señalado anteriormente.

Con el método de aproximación gráfica se genera el incremento de las temperaturas máximas como se aprecia en la *Gráfica 4*.



Gráfica 4. Aumento de temperaturas máximas de acuerdo al sobrecalentamiento pronosticado. Elaboración propia

Así, las temperaturas máximas de los diferentes escenarios se ajustan de acuerdo a la *Tabla 3*.

Tabla 3. Aumento de temperaturas máximas diarias. Elaboración propia.

| Tabla 3. Aumento de temperaturas máximas diarias. Elaboración propia. | | | | | | | | |
|---|-------------|------|-----------|------|-------|------|------|------------------|
| Aumento adicional | Hasta 1.5°C | | Hasta 2°C | | 2.5°C | 3°C | 4°C | Más de 4°C (5°C) |
| | 0.38 | | 0.52 | | 0.65 | 0.8 | 1.08 | 1.37 |
| | C1 | C2 | C3 | C4 | C5 | C6 | C7 | C8 |
| 2030 | 1.84 | 1.84 | 1.98 | 1.98 | 2.11 | 2.27 | 2.56 | 2.90 |
| 2040 | 1.95 | 2.03 | 2.18 | 2.21 | 2.35 | 2.52 | 2.87 | 3.27 |
| 2050 | 1.94 | 2.07 | 2.24 | 2.35 | 2.53 | 2.75 | 3.16 | 3.69 |
| 2060 | 1.88 | 2.03 | 2.25 | 2.39 | 2.65 | 2.93 | 3.45 | 4.04 |
| 2070 | 1.84 | 1.98 | 2.24 | 2.40 | 2.73 | 3.10 | 3.74 | 4.43 |
| 2080 | 1.79 | 1.91 | 2.20 | 2.39 | 2.76 | 3.27 | 4.01 | 4.80 |
| 2090 | 1.76 | 1.86 | 2.17 | 2.38 | 2.77 | 3.40 | 4.28 | 4.84 |
| 2100 | 1.71 | 1.80 | 2.15 | 2.35 | 2.76 | 3.48 | 4.56 | 5.57 |

La casilla con el color amarillo indica el punto máximo o pico de temperatura para ese escenario.

Respecto a la república mexicana y usando los datos globales de aumento de temperatura en los diferentes escenarios se generó una estimación de temperaturas promedio, máximas y mínimas promedio (con el ajuste del año) para las principales ciudades del país, y se les incrementó la temperatura de los diferentes escenarios usando las siguientes fórmulas:

Fórmula para temperaturas medias y mínimas promedio

$$T_{mec7} = T_m + \Delta eC7 - \Delta T_p$$

Donde:

T_{mec7} =Temperatura media promedio escenario C7

T_m =Temperatura media promedio de las normales climatológicas de 1991-2020

$\Delta eC7$ =Incremento de acuerdo al modelo del escenario C7

ΔT_p =Ajuste de temperatura. Diferencia de temperatura entre el promedio de las lecturas de las normales climatológicas (1991-2020=2005.5) y el año 1900 = 0.81 °C (Ver *Figura 7*)

Fórmula para temperaturas máximas

$$T_{\text{máx. diaria}} = T_{\text{máx}} + \Delta eC7 + \Delta TXx - \Delta T_p$$

Donde:

$T_{\text{máx. diaria}}$ =Temperaturas máximas promedio diario.

$T_{\text{máx}}$ = Temperatura máxima promedio de las normales climatológicas de 1991-2020

$\Delta eC7$ =Incremento de acuerdo al modelo del escenario C7

ΔTXx =Sobreincremento en temperaturas máximas diarias

ΔT_p =Ajuste de temperatura. Diferencia de temperatura entre el promedio de las lecturas de las normales climatológicas (1991-2020=2005.5) y el año 1900 = 0.81 °C (Ver *Figura 7*)

En la *Tabla 4*, se muestran las temperaturas promedio máximas, medias y mínimas de las normales climatológicas de 1991 a 2020, y con el método propuesto se estiman las temperaturas para los años 2030, 2050 y 2100 de algunas ciudades de relevancia de la república mexicana.

Estimación gráfica de temperaturas al año 2100 para ciudades mexicanas y estrategia de mitigación de cambio climático

Tabla 4. Temperaturas actuales con zona de confort adaptativo y proyección de temperaturas en México para 2030, 2050 y 2100 para las principales ciudades del país.

| | LOCALIDAD | TEMP. PROMEDIO (1991-2020) | | | | | | | PERIODO NORMALES |
|----|----------------------------|---------------------------------|-------|-------|--------|---|--------|--------|------------------|
| | | Normales climatológicas Conagua | | | | Zona de confort adaptativo. ASHRAE 55/DE DEAR | | | |
| | | Tmax | Tm | Tmin | PP | Tn | ZCs | ZCi | |
| 1 | TOLUCA, EDOMEX | 19.90 | 14.30 | 8.70 | 1054.2 | 22.233 | 24.733 | 20.033 | 1991-2020 |
| 2 | PACHUCA DE SOTO, HGO. | 21.60 | 15.50 | 9.50 | 277.5 | 22.605 | 25.105 | 20.405 | 1991-2020 |
| 3 | ZACATECAS, ZAC. | 22.40 | 16.10 | 9.70 | 517.6 | 22.791 | 25.291 | 20.591 | 1991-2020 |
| 4 | SAN CRISTOBAL de las CASAS | 22.10 | 15.40 | 8.80 | 1132.2 | 22.574 | 25.074 | 20.374 | 1991-2020 |
| 5 | DURANGO, DUR. | 23.50 | 15.30 | 7.20 | 557.5 | 22.543 | 25.043 | 20.343 | 1991-2020 |
| 6 | CDMX (Ibero, Sta. Fe) | 23.50 | 15.60 | 7.60 | 912.3 | 22.636 | 25.136 | 20.436 | 1951-2010 |
| 7 | CDMX (AICM) | 24.80 | 15.00 | 5.20 | 412.8 | 22.45 | 24.95 | 20.25 | 1991-2020 |
| 8 | TLAXCALA, TLX | 25.10 | 16.80 | 8.50 | 866 | 23.008 | 25.508 | 20.808 | 1991-2020 |
| 9 | PUEBLA, PUE. | 25.70 | 17.70 | 9.70 | 1040.9 | 23.287 | 25.787 | 21.087 | 1991-2020 |
| 10 | CDMX (TACUBAYA) | 24.50 | 18.30 | 11.50 | 860.8 | 23.473 | 25.973 | 21.273 | 1991-2020 |
| 11 | SAN LUIS POTOSÍ, SLP | 24.80 | 18.00 | 11.30 | 403.9 | 23.38 | 25.88 | 21.18 | 1991-2020 |
| 12 | VALLE DE BRAVO, MEX. | 25.50 | 18.40 | 11.20 | 753 | 23.504 | 26.004 | 21.304 | 1991-2020 |
| 13 | SALTILLO, COAH. | 25.80 | 18.50 | 11.50 | 330.1 | 23.535 | 26.035 | 21.335 | 1991-2020 |
| 14 | CDMX (COL. EDUCACIÓN) | 26.10 | 18.20 | 10.20 | 752.3 | 23.442 | 25.942 | 21.242 | 1991-2020 |
| 15 | QUERETARO, QRO. | 26.80 | 19.50 | 12.20 | 497.5 | 23.845 | 26.345 | 21.645 | 1991-2020 |
| 16 | AGUASCALIENTES, AGS. | 27.00 | 19.50 | 11.90 | 546.5 | 23.845 | 26.345 | 21.645 | 1991-2020 |
| 17 | GUADALAJARA, JAL. | 27.40 | 21.00 | 14.50 | 1013.5 | 24.31 | 26.81 | 22.11 | 1991-2020 |
| 18 | MORELIA, MICH. | 27.70 | 19.20 | 10.60 | 817.9 | 23.752 | 26.252 | 21.552 | 1991-2020 |
| 19 | CUERNAVACA, MOR. | 27.90 | 21.50 | 15.20 | 1402.1 | 24.465 | 26.965 | 22.265 | 1991-2020 |
| 20 | TAMPICO, TAM. | 29.30 | 25.40 | 21.20 | 1199.4 | 25.674 | 28.174 | 23.474 | 1991-2020 |
| 21 | PUERTO VALLARTA, JAL. | 29.30 | 23.60 | 17.90 | 1777.2 | 25.116 | 27.616 | 22.916 | 1991-2020 |
| 22 | CHILPANCIINGO, GRO | 29.50 | 22.30 | 15.10 | 806.4 | 24.713 | 27.213 | 22.513 | 1991-2020 |
| 23 | MONTERREY, N.L. | 29.60 | 23.50 | 17.50 | 679.7 | 25.085 | 27.585 | 22.885 | 1991-2020 |
| 24 | TEPIC, NAY. | 29.80 | 22.70 | 15.70 | 1100.6 | 24.837 | 27.337 | 22.637 | 1991-2020 |
| 25 | VERACRUZ, VER. | 30.50 | 25.20 | 19.90 | 1620.2 | 25.612 | 28.112 | 23.412 | 1991-2020 |
| 26 | OAXACA, OAX. | 30.80 | 22.50 | 14.10 | 849 | 24.775 | 27.275 | 22.575 | 1991-2020 |
| 27 | CD. VICTORIA, TAM. | 30.90 | 24.00 | 17.20 | 777.6 | 25.24 | 27.74 | 23.04 | 1991-2020 |
| 28 | MEXICALI, B.C. | 31.40 | 22.30 | 13.30 | 53.2 | 24.713 | 27.213 | 22.513 | 1991-2020 |
| 29 | ACAPULCO, GRO. | 31.40 | 27.90 | 24.30 | 1448.6 | 26.449 | 28.949 | 24.249 | 1991-2020 |
| 30 | CHETUMAL, ROO. | 31.70 | 27.40 | 23.10 | 1375 | 26.294 | 28.794 | 24.094 | 1991-2020 |
| 31 | VILLAHERMOSA, TAB. | 32.00 | 27.40 | 22.90 | 1923.7 | 26.294 | 28.794 | 24.094 | 1991-2020 |
| 32 | TUXTLA GUTIERREZ, CHIS. | 32.10 | 26.00 | 20.00 | 988 | 25.86 | 28.36 | 23.66 | 1991-2020 |
| 33 | CANCUN, Q.R. | 32.30 | 27.60 | 22.90 | 1372.5 | 26.356 | 28.856 | 24.156 | 1991-2020 |
| 34 | LA PAZ, BCS | 32.30 | 25.10 | 17.90 | 186.7 | 25.581 | 28.081 | 23.381 | 1991-2020 |
| 35 | HERMOSILLO, SON. | 32.70 | 25.40 | 18.20 | 379 | 25.674 | 28.174 | 23.474 | 1991-2020 |
| 36 | CAMPECHE, CAMP. | 32.90 | 27.30 | 21.70 | 1158.3 | 26.263 | 28.763 | 24.063 | 1991-2020 |
| 37 | ZIHUATANEJO, GRO. | 33.10 | 27.40 | 21.70 | 948 | 26.294 | 28.794 | 24.094 | 1964-2019 |
| 38 | CULIACAN, SIN. | 33.50 | 26.10 | 18.70 | 688.3 | 25.891 | 28.391 | 23.691 | 1991-2020 |
| 39 | MÉRIDA, YUC. | 33.60 | 26.70 | 19.80 | 1225 | 26.077 | 28.577 | 23.877 | 1991-2020 |
| 40 | COLIMA, COL. | 33.70 | 26.40 | 19.00 | 861.1 | 25.984 | 28.484 | 23.784 | 1991-2020 |
| 41 | TAPACHULA, CHIS. | 34.60 | 28.70 | 22.90 | 2052.6 | 26.697 | 29.197 | 24.497 | 1991-2020 |
| 42 | TEPACALTEPEC, MICH. | 36.40 | 28.00 | 19.60 | 680.8 | 26.48 | 28.98 | 24.28 | 1991-2020 |

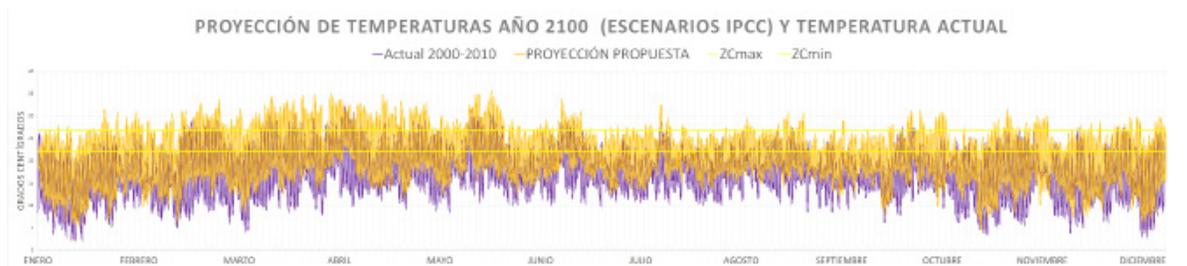
| | LOCALIDAD | ESTIMACIÓN 2030 | | | ESTIMACIÓN 2050 | | | ESTIMACIÓN 2100 | | |
|----|----------------------------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------------|----------------|---------------------|-----------------|----------------|
| | | ESCENARIO C7 (IPCC) | | | ESCENARIO C7 (IPCC) | | | ESCENARIO C7 (IPCC) | | |
| | | Tmáx. prom. | Tmedia prom. | Tmín. prom. | Tmáx. prom. | Tmedia prom. | Tmín. prom. | Tmáx. prom. | Tmedia prom. | Tmín. prom. |
| 1 | TOLUCA, EDOMEX | 21.65 | 14.97 | 9.37 | 22.25 | 15.57 | 9.97 | 23.65 | 16.97 | 11.37 |
| 2 | PACHUCA DE SOTO, HGO. | 23.35 | 16.17 | 10.17 | 23.95 | 16.77 | 10.77 | 25.35 | 18.17 | 12.17 |
| 3 | ZACATECAS, ZAC. | 24.15 | 16.77 | 10.37 | 24.75 | 17.37 | 10.97 | 26.15 | 18.77 | 12.37 |
| 4 | SAN CRISTOBAL de las CASAS | 23.85 | 16.07 | 9.47 | 24.45 | 16.67 | 10.07 | 25.85 | 18.07 | 11.47 |
| 5 | DURANGO, DUR. | 25.25 | 15.97 | 7.87 | 25.85 | 16.57 | 8.47 | 27.25 | 17.97 | 9.87 |
| 6 | CDMX (Ibero, Sta. Fe) | 25.25 | 16.27 | 8.27 | 25.85 | 16.87 | 8.87 | 27.25 | 18.27 | 10.27 |
| 7 | CDMX (AICM) | 26.55 | 15.67 | 5.87 | 27.15 | 16.27 | 6.47 | 28.55 | 17.67 | 7.87 |
| 8 | TLAXCALA, TLX | 26.85 | 17.47 | 9.17 | 27.45 | 18.07 | 9.77 | 28.85 | 19.47 | 11.17 |
| 9 | PUEBLA, PUE. | 27.45 | 18.37 | 10.37 | 28.05 | 18.97 | 10.97 | 29.45 | 20.37 | 12.37 |
| 10 | CDMX (TACUBAYA) | 26.25 | 18.97 | 12.17 | 26.85 | 19.57 | 12.77 | 28.25 | 20.97 | 14.17 |
| 11 | SAN LUIS POTOSÍ, SLP | 26.55 | 18.67 | 11.97 | 27.15 | 19.27 | 12.57 | 28.55 | 20.67 | 13.97 |
| 12 | VALLE DE BRAVO, MEX. | 27.25 | 19.07 | 11.87 | 27.85 | 19.67 | 12.47 | 29.25 | 21.07 | 13.87 |
| 13 | SALTILLO, COAH. | 27.55 | 19.17 | 12.17 | 28.15 | 19.77 | 12.77 | 29.55 | 21.17 | 14.17 |
| 14 | CDMX (COL. EDUCACIÓN) | 27.85 | 18.87 | 10.87 | 28.45 | 19.47 | 11.47 | 29.85 | 20.87 | 12.87 |
| 15 | QUERETARO, QRO. | 28.55 | 20.17 | 12.87 | 29.15 | 20.77 | 13.47 | 30.55 | 22.17 | 14.87 |
| 16 | AGUASCALIENTES, AGS. | 28.75 | 20.17 | 12.57 | 29.35 | 20.77 | 13.17 | 30.75 | 22.17 | 14.57 |
| 17 | GUADALAJARA, JAL. | 29.15 | 21.67 | 15.17 | 29.75 | 22.27 | 15.77 | 31.15 | 23.67 | 17.17 |
| 18 | MORELIA, MICH. | 29.45 | 19.87 | 11.27 | 30.05 | 20.47 | 11.87 | 31.45 | 21.87 | 13.27 |
| 19 | CUERNAVACA, MOR. | 29.65 | 22.17 | 15.87 | 30.25 | 22.77 | 16.47 | 31.65 | 24.17 | 17.87 |
| 20 | TAMPICO, TAM. | 31.05 | 26.07 | 21.87 | 31.65 | 26.67 | 22.47 | 33.05 | 28.07 | 23.87 |
| 21 | PUERTO VALLARTA, JAL. | 31.05 | 24.27 | 18.57 | 31.65 | 24.87 | 19.17 | 33.05 | 26.27 | 20.57 |
| 22 | CHILPANCIÑO, GRO | 31.25 | 22.97 | 15.77 | 31.85 | 23.57 | 16.37 | 33.25 | 24.97 | 17.77 |
| 23 | MONTERREY, N.L. | 31.35 | 24.17 | 18.17 | 31.95 | 24.77 | 18.77 | 33.35 | 26.17 | 20.17 |
| 24 | TEPIC, NAY. | 31.55 | 23.37 | 16.37 | 32.15 | 23.97 | 16.97 | 33.55 | 25.37 | 18.37 |
| 25 | VERACRUZ, VER. | 32.25 | 25.87 | 20.57 | 32.85 | 26.47 | 21.17 | 34.25 | 27.87 | 22.57 |
| 26 | OAXACA, OAX. | 32.55 | 23.17 | 14.77 | 33.15 | 23.77 | 15.37 | 34.55 | 25.17 | 16.77 |
| 27 | CD. VICTORIA, TAM. | 32.65 | 24.67 | 17.87 | 33.25 | 25.27 | 18.47 | 34.65 | 26.67 | 19.87 |
| 28 | MEXICALI, B.C. | 33.15 | 22.97 | 13.97 | 33.75 | 23.57 | 14.57 | 35.15 | 24.97 | 15.97 |
| 29 | ACAPULCO, GRO. | 33.15 | 28.57 | 24.97 | 33.75 | 29.17 | 25.57 | 35.15 | 30.57 | 26.97 |
| 30 | CHETUMAL, ROO. | 33.45 | 28.07 | 23.77 | 34.05 | 28.67 | 24.37 | 35.45 | 30.07 | 25.77 |
| 31 | VILLAHERMOSA, TAB. | 33.75 | 28.07 | 23.57 | 34.35 | 28.67 | 24.17 | 35.75 | 30.07 | 25.57 |
| 32 | TUXTLA GUTIERREZ, CHIS. | 33.85 | 26.67 | 20.67 | 34.45 | 27.27 | 21.27 | 35.85 | 28.67 | 22.67 |
| 33 | CANCUN, Q.R. | 34.05 | 28.27 | 23.57 | 34.65 | 28.87 | 24.17 | 36.05 | 30.27 | 25.57 |
| 34 | LA PAZ, BCS | 34.05 | 25.77 | 18.57 | 34.65 | 26.37 | 19.17 | 36.05 | 27.77 | 20.57 |
| 35 | HERMOSILLO, SON. | 34.45 | 26.07 | 18.87 | 35.05 | 26.67 | 19.47 | 36.45 | 28.07 | 20.87 |
| 36 | CAMPECHE, CAMP. | 34.65 | 27.97 | 22.37 | 35.25 | 28.57 | 22.97 | 36.65 | 29.97 | 24.37 |
| 37 | ZIHUATANEJO, GRO. | 34.85 | 28.07 | 22.37 | 35.45 | 28.67 | 22.97 | 36.85 | 30.07 | 24.37 |
| 38 | CULIACAN, SIN. | 35.25 | 26.77 | 19.37 | 35.85 | 27.37 | 19.97 | 37.25 | 28.77 | 21.37 |
| 39 | MÉRIDA, YUC. | 35.35 | 27.37 | 20.47 | 35.95 | 27.97 | 21.07 | 37.35 | 29.37 | 22.47 |
| 40 | COLIMA, COL. | 35.45 | 27.07 | 19.67 | 36.05 | 27.67 | 20.27 | 37.45 | 29.07 | 21.67 |
| 41 | TAPACHULA, CHIS. | 36.35 | 29.37 | 23.57 | 36.95 | 29.97 | 24.17 | 38.35 | 31.37 | 25.57 |
| 42 | TEPACALTEPEC, MICH. | 38.15 | 28.67 | 20.27 | 38.75 | 29.27 | 20.87 | 40.15 | 30.67 | 22.27 |

Validación

Para validar estos datos se usó el software Meteonorm con cálculo a futuro, usando los escenarios del IPCC RCP 4.5 y RCP 8.5 del año 2100. Como el software no hace proyecciones con el escenario C7, se generaron mediante una hoja de cálculo con el método de interpolación.

Para esta validación se usaron datos climatológicos de la estación de Tacubaya de la Ciudad de México.

En la *Gráfica 5* se observa la comparación de las temperaturas actuales diarias (2000-2010⁴) con la proyección de temperaturas al año 2100 realizado con método gráfico propuesto en esta investigación para la estación Tacubaya, también se grafica la zona de confort adaptativa para una mejor lectura.



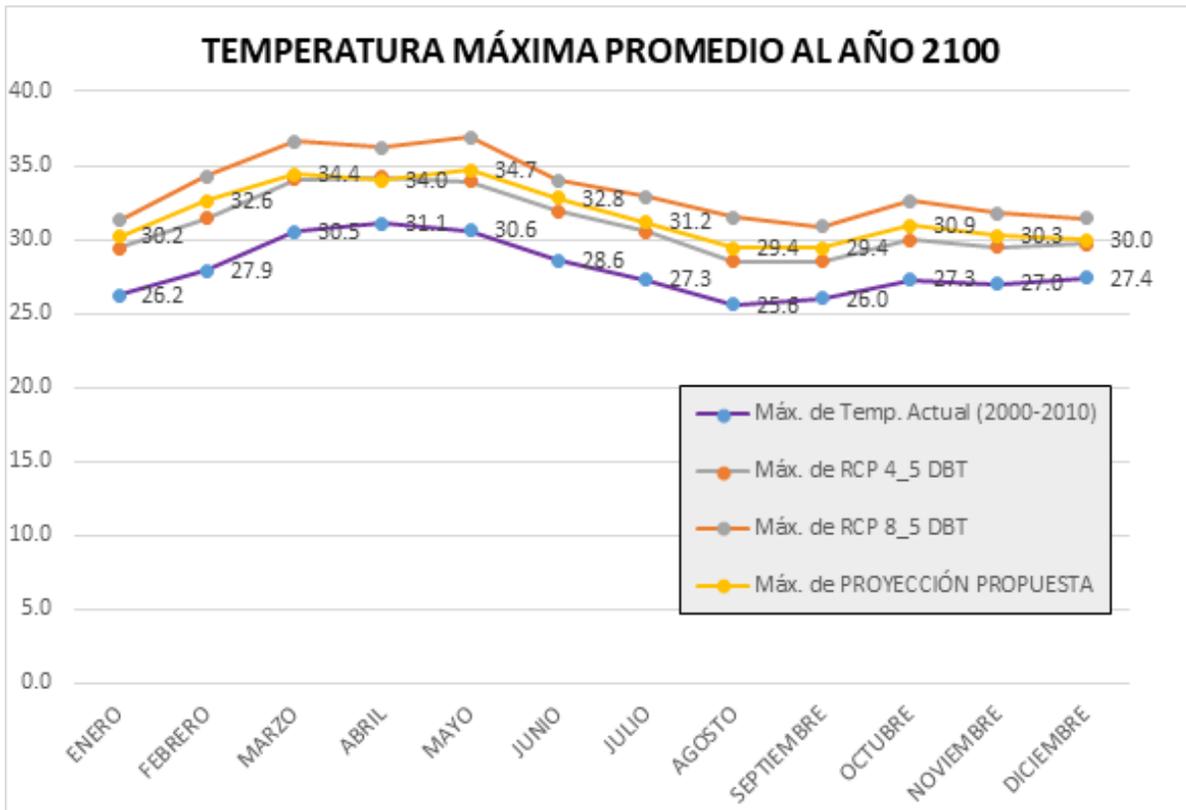
Gráfica 5. Comparativa de temperaturas entre las actuales y la proyección propuesta al año 2100.

Fuente: Archivo climático EPW⁵ de escenarios futuros elaborados con Meteonorm v8.1.4 y procesamiento diario realizado con hoja de cálculo Excel.

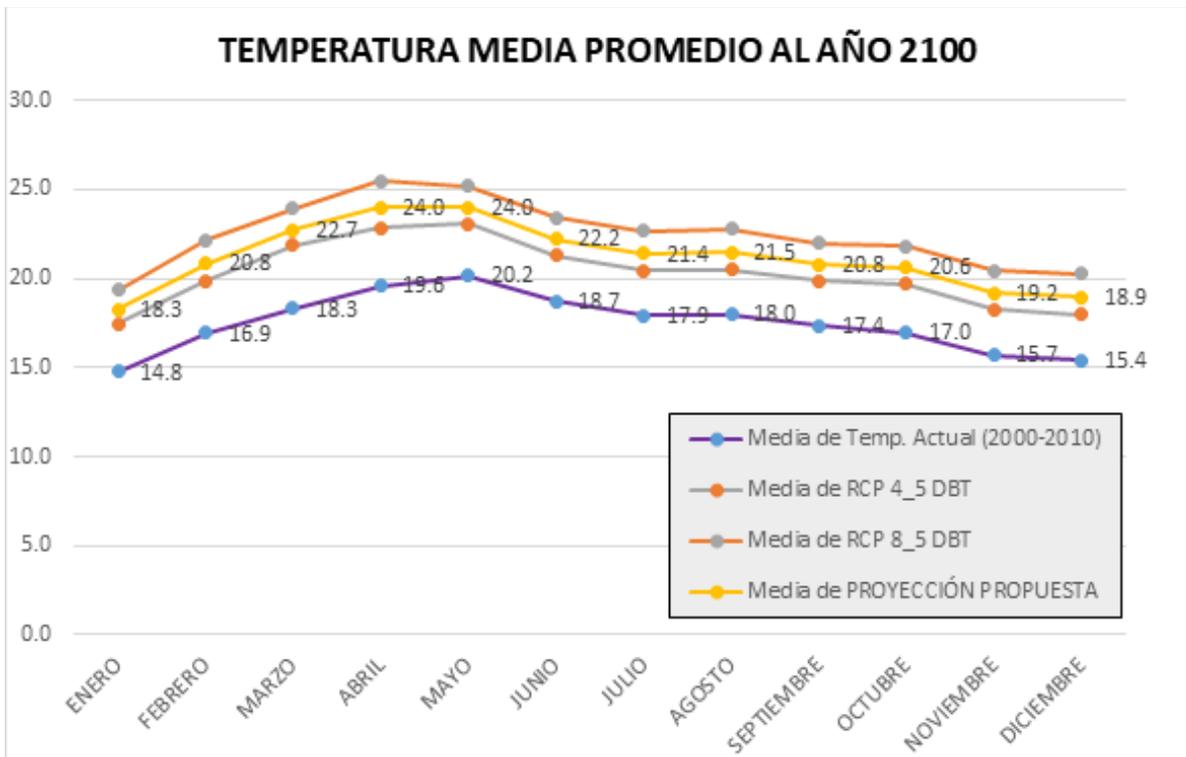
Estos valores anuales se procesaron para generar la propuesta de aproximación gráfica para el año 2100 con temperaturas máximas (ver Gráfica 6), medias (ver Gráfica 7) y mínimas (ver Gráfica 8). Para una mejor comparación, se grafican los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, todas las temperaturas son de bulbo seco y se expresan en grados centígrados.

⁴ El rango de años usados son los años con que cuenta el archivo climático epw.

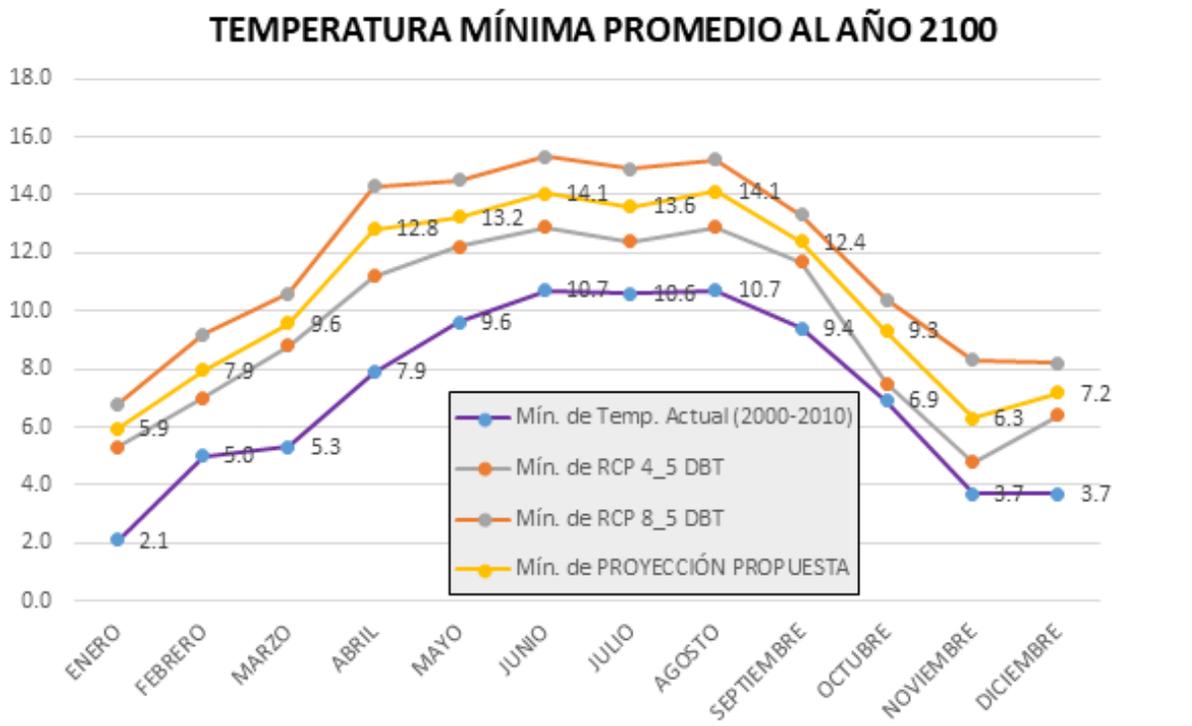
⁵ EPW Energy Plus Weather por sus siglas en inglés es un archivo climático.



Gráfica 6. Comparativa de temperaturas máximas promedio (al 2100)

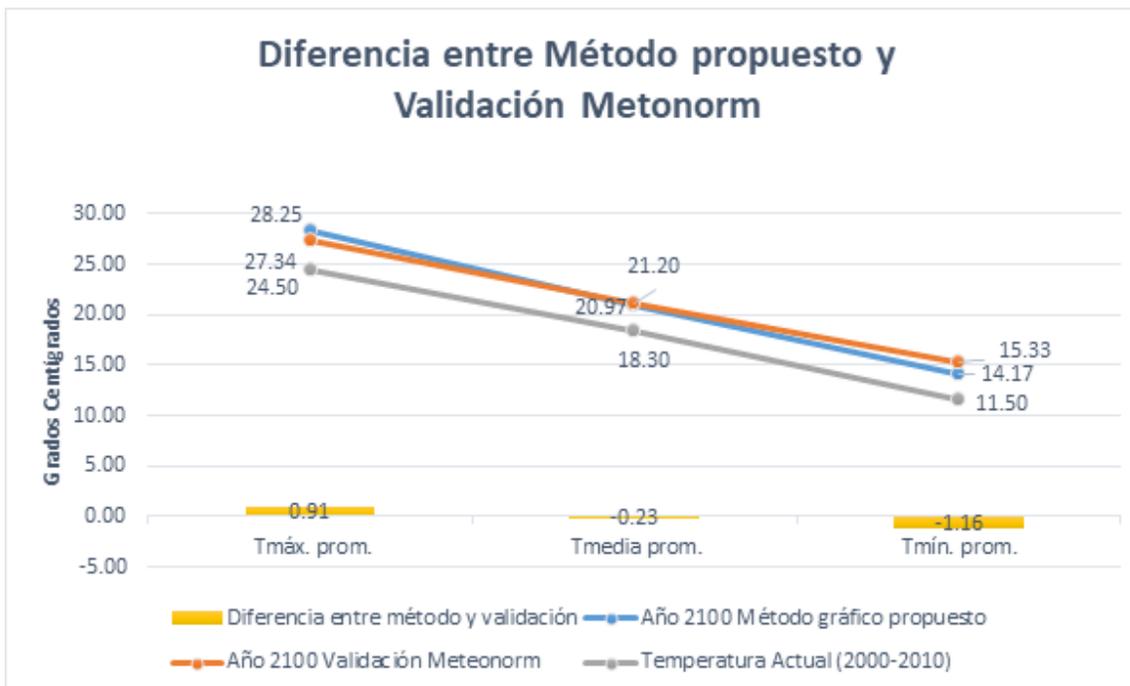


Gráfica 7. Comparativa de temperaturas medias promedio (al 2100)



Gráfica 8. Comparativa de temperaturas mínimas promedio (al 2100)

Derivado del análisis de las gráficas anteriores de comparación de temperaturas, se promediaron los valores de Temperatura máxima, media y mínima, para validar la propuesta de aproximación de tipo gráfico generada con los resultados mostrados en la Gráfica 9 y Tabla 5.



Gráfica 9. Validación del método con software Meteonorm.

Tabla 5. Validación y diferencia entre método propuesto y Meteonorm con interpolación.

| CDMX (TACUBAYA) | <u>Tmáx.</u> promedio (° C) | <u>Tmedia</u> promedio (° C) | <u>Tmín.</u> promedio (° C) |
|---|--|---|--|
| Año 2100 Método de aproximación gráfica propuesto | 28.25 | 20.97 | 14.17 |
| Año 2100 Validación <u>Meteonorm</u> | 27.34 | 21.20 | 15.33 |
| Temperatura Actual (2000-2010) | 24.50 | 18.30 | 11.50 |
| Diferencia entre método y validación | 0.91 | -0.23 | -1.16 |

En las temperaturas máximas promedio (Tmáx. Prom.) el método de aproximación gráfico propuesto se encuentra por encima en 0.91 °C; para las temperaturas medias promedio (Tmedia prom.) el método se encuentra solo 0.23 °C por debajo del de validación y para las temperaturas mínimas promedio (Tmín. Prom.) el método se encuentra por debajo de la validación en 1.16 °C.

En conclusión, el método gráfico propuesto, en los escenarios de temperatura al año 2100 se aproxima mucho a la estimación de validación generado por Meteonorm (con los escenarios RCP) y procesado con el método de interpolación con una hoja de cálculo, con un margen de error de ± 1.2 °C.

También se puede señalar que para el 2100 en CDMX si no hay cambios significativos, es decir, continuando como siempre, “business as usual”, el incremento de temperatura máxima promedio será de **3.75 °C**; mientras que para la temperatura media y mínima promedio el incremento será de 2.67 °C.

Conclusiones

La proyección de tipo gráfica realizada nos ha permitido visualizar un escenario hipotético de temperaturas futuras a nivel nacional, en el que seguimos sin hacer cambios significativos en México y en el mundo. El hecho de mostrar los escenarios aplicados a las temperaturas de las principales capitales y localidades de interés de la república mexicana, permite comprender de manera directa las implicaciones del cambio climático en cada una de estas ciudades del contexto nacional.

México requiere cambiar su rumbo inmediatamente para mejorar las condiciones mundiales participando activamente antes de que sea demasiado tarde, hace falta perspectiva global y un entendimiento de la trascendencia del fenómeno para las futuras generaciones.

Es necesaria la adaptación de los edificios al clima futuro para garantizar el bienestar de todas y todos. Las esperadas olas de calor se incrementarán inevitablemente haciendo necesaria la incorporación de sistemas de aire acondicionado, y cuando ya se cuente con ellos, mayor carga de enfriamiento para lograr confort térmico para limitar impactos negativos en

la salud. Esto a su vez, traerá la necesidad de mayor energía y materiales que llevarán al incremento en emisiones de GEI.

Según los expertos del panel intergubernamental de cambio climático considerando el esperado futuro climático, medidas como el diseño bioclimático en los edificios, que incluye ventilación natural, **protección solar** y soluciones basadas en la naturaleza (como azoteas verdes, por ejemplo) reducirán la demanda de energía.

Entre los hallazgos en esta investigación se encontró que desde la proyección al año 2030, prácticamente todas las ciudades enlistadas en este artículo requerirían protecciones solares por las tardes (fachadas poniente) y casi la mitad de las ciudades en la fachada sur, para evitar el sobrecalentamiento de temperatura de los espacios interiores (independientemente de su uso y tipología).

La envolvente de las edificaciones juega un papel preponderante para la adaptación climática y mitigación de cambio climático en los edificios. El aislamiento en muros, losas y ventanas será un tema relevante en México como se hace ya en países de primer mundo. Pero esta envolvente y los dispositivos de control solar idealmente deberán ser adaptativos y optimizados de acuerdo con las diferentes etapas del día, ya que hay momentos en que es deseable el asoleamiento y sobre todo la iluminación natural, y otros, especialmente por las tardes, en que la protección solar es indispensable. Protección solar selectiva en la búsqueda de mejores condiciones de habitabilidad en confort térmico y lumínico.

BIBLIOGRAFÍA

Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., Jones, C., ... Ha, M. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, G. Flato, M. Howden, C. Méndez-Vallejo, J. J. Pereira, R. Pichs-Madruga, S. K. Rose, Y. Saheb, R. Sánchez Rodríguez, D. Üрге-Vorsatz, C. Xiao, N. Yassaa, J. Romero, J. Kim, E. F. Haites, Y. Jung, R. Stavins, ... C. Péan, Eds.). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

IPCC, Calvin, K., Dasgupta, D., Krinner, G., Mukherji, A., Thorne, P. W., Trisos, C., Romero, J., Aldunce, P., Barrett, K., Blanco, G., Cheung, W. W. L., Connors, S., Denton, F., Diongue-Niang, A., Dodman, D., Garschagen, M., Geden, O., Hayward, B., ... Ha, M. (2023). IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. (P. Arias, M. Bustamante, I. Elgizouli, G. Flato, M. Howden, C. Méndez-Vallejo, J. J. Pereira, R. Pichs-Madruga, S. K. Rose, Y. Saheb, R. Sánchez Rodríguez, D. Üрге-Vorsatz, C. Xiao, N. Yassaa, J. Romero, J. Kim, E. F. Haites, Y. Jung, R. Stavins, ... C. Péan, Eds.). <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

IPCC. WMO-UNEP. (2022). Mitigation of Climate Change Climate Change 2022 Working Group III contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. www.ipcc.ch

Índice de gráficas:

| | |
|---|----|
| Gráfica 1. Integración de diferencia de temperaturas desde 1900 hasta 2100 con línea de proyección generada con el método de aproximación gráfico. Elaboración propia | 4 |
| Gráfica 2. Escenarios C1-C8 tabulados con línea de proyección. Elaboración propia basado en IPCC. | 5 |
| Gráfica 3. Aumento de temperatura desde 1900 a la fecha (Elaboración propia con datos del IPCC). | 6 |
| Gráfica 4. Aumento de temperaturas máximas de acuerdo al sobrecalentamiento pronosticado. Elaboración propia | 7 |
| Gráfica 5. Comparativa de temperaturas entre las actuales y la proyección propuesta al año 2100. | 11 |
| Gráfica 6. Comparativa de temperaturas máximas promedio (al 2100). | 12 |

| | |
|--|----|
| Gráfica 7. Comparativa de temperaturas medias promedio (al 2100). | 12 |
| Gráfica 8. Comparativa de temperaturas mínimas promedio (al 2100). | 13 |
| Gráfica 9. Validación del método con software Meteonorm. | 14 |

Índice de Tablas:

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Descripción y relación comparativa de escenarios considerados en los reportes del grupo de trabajo AR6. | 3 |
| Tabla 2. Aumento de temperaturas de los diferentes escenarios C1-C8. Elaboración propia basado en IPCC. | 5 |
| Tabla 3. Aumento de temperaturas máximas diarias. Elaboración propia. | 7 |
| Tabla 4. Temperaturas actuales con zona de confort adaptativo y proyección de temperaturas en México para 2030, 2050 y 2100 para las principales ciudades del país. | 9 |
| Tabla 5. Validación y diferencia entre método propuesto y Meteonorm con interpolación. .. | 14 |

La tecnología sustentable de los sistemas de alta eficiencia de iluminación natural aplicada al diseño y construcción de centros deportivos

Héctor Valerdi Madrigal¹,

Francisco Rojas Caldelas²,

Jazmín Ovalle Pérez³

1 Profesor investigador de la División de Ciencias y Artes para el Diseño, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Correo: hvm@azc.uam.mx

2 Profesor investigador de la División de Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Correo: grandcisco@yahoo.com

3 Alumna de Doctorado del Posgrado en Diseño Bioclimático de la División de Ciencias y Artes para el Diseño, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Correo: al2201800626@azc.uam.mx

INTRODUCCIÓN

Siempre ha existido la necesidad de iluminar espacios interiores o bloquear la incidencia solar en ellos y así resguardarse de la luz solar. Hoy en día estas acciones resultan sencillas, pero no siempre fue así. El estudio y desarrollo de nuevas tecnologías permite la iluminación de espacios de manera controlada con solo presionar un apagador, sin embargo, la poca consciencia o planeación de la utilización de recursos eléctricos destinados a la iluminación interior de los edificios han participado en la crisis energética mundial obligando a varios gobiernos a reconsiderar los diferentes métodos de generación eléctrica destinada a este rubro.

La luz natural es un elemento que se puede controlar y no es un fenómeno de mucha luz o luz descontrolada, por el contrario; es un recurso más, que bien estudiado y proyectado puede ser empleado de manera eficiente.

La luz cenital permite iluminar el interior de un edificio, pero es una fuente de energía temporal en el ámbito superficial terrestre, se aprovecha durante el día y se carece de ella durante la noche, debido a la geometría de la tierra, su inclinación, sus principales movimientos (rotación y traslación) y la forma de la órbita terrestre. Lo anterior permite tener un estudio concluyente de su comportamiento. Las posibles afectaciones responden a otro tipo de fenómenos naturales tales como nubosidad, huracanes, nevadas, etc. Las afectaciones provocadas por el hombre son la contaminación, la polución excesiva, edificios de fachadas reflectivas, la altura de las edificaciones cuya sombra puede afectar otras edificaciones o espacios.

PALABRAS CLAVE

Luz natural, iluminación natural, eficiencia energética, luminoductos, edificios deportivos

ABSTRACT

It has always been necessary to provide illumination for interior spaces or to prevent the penetration of sunlight into the interior spaces. In order to protect them from the effects of sunlight. Today, these processes are straightforward, but they were not always so. The advancement of technology has enabled the controlled illumination of spaces with a simple switch. However, the lack of awareness or planning regarding the use of electrical resources for indoor lighting in buildings has contributed to the global energy crisis, prompting several governments to re-evaluate the various methods of electricity generation in this sector. Natural light is a controllable component and is not a phenomenon of excessive illumination or uncontrolled light. In fact, it is another resource that, if adequately studied and planned, can be utilized efficiently.

The overhead light provides illumination for the interior of a building, but it is a temporary source of energy with respect to the Earth's surface. The geometry of the Earth, its inclination, its main movements (rotation and translation), and the shape of the Earth's orbit result

in a lack of illumination at night. This allows for a conclusive examination of their behavior to be conducted. Potential effects may be influenced by other natural phenomena, such as cloud cover, hurricanes, snowfall, and so forth. Anthropogenic effects include pollution, excessive pollution, buildings with reflective facades, and the height of buildings, which can affect the shade of surrounding structures.

KEY WORDS

Natural light, natural lighting, energy efficiency, lighting pipelines, sports buildings

Este trabajo pretende abordar una arista sobre el tema de la tecnología sustentable de los sistemas de alta eficiencia de iluminación natural aplicada al diseño y construcción de centros deportivos. Por tal motivo, es importante acotar que las investigaciones presentadas tienen como principal análisis la iluminación natural ya que este es el elemento a estudiar y del cual se pretende obtener su máximo provecho. Para esto es primordial identificar los tres niveles en los cuales se desarrolla esta investigación. En primer lugar, se debe entender ¿Qué es la luz natural y como está compuesta? En un segundo momento se analizarán diferentes casos de estudio y las necesidades que llevaron a proponer el aprovechamiento de luz natural. Por último, la descripción y características principales de uno de los sistemas de iluminación natural más comunes hoy en día. Por todo lo anterior se puede cuestionar si, ¿Todos los sistemas de alta eficiencia son iguales?, ¿cualquier sistema se puede emplear en los edificios? Estas son algunas de las tantas preguntas que se pueden generar, sin embargo, de manera concreta se puede decir que iluminación natural es más que solo un concepto dentro del abanico de la iluminación.

Finalmente se puede cuestionar ¿Por qué edificios deportivos?, ¿la iluminación natural soluciona los requerimientos lumínicos de estos edificios?, ¿Qué factores intervienen en el diseño del edificio y cómo se deben implementar los sistemas de alta eficiencia?

Al hablar de Iluminación natural primero se deben entender algunos conceptos que permitirán familiarizarse con el tema y así saber que no todo su espectro será utilizado para la correcta iluminación de un espacio.

Desde siempre se ha considerado que el sol es la fuente primaria de luz natural, sin embargo, existen otras fuentes de iluminación natural tales como: las luciérnagas, el *Stipticus Panellus* que es una de las 70 especies de hongos bioluminiscentes, el *Enope Espumoso* o calamar luciérnaga, los peces de las profundidades que generan su propia luz como método de caza, el fitoplancton bioluminiscente que responde al estrés de las mareas, los rayos que se generan en las tormentas eléctricas o las auroras boreales que se desarrollan en la atmósfera terrestre. Todos estos son algunos de los tantos ejemplos de iluminación natural que tiene este planeta vivo, pero que no son considerados para este análisis.

En un primer momento, se puede definir a los rayos solares como una concentración de energía lumínica radiante, compuesta por una gama de frecuencias contenidas en el espectro

luminoso el cual se puede definir como la distribución de la energía irradiada por una fuente luminosa, en este caso el Sol, esta radiación tiene un ordenamiento de diversos valores de longitud de onda y una secuencia matizada por la descomposición de la luz; esto da origen a los colores del arco iris. Este fenómeno se genera cuando la luz solar o luz blanca se descompone al pasar a través de un prisma refractor, permitiendo ver los colores contenidos en un haz de luz el cual se puede medir o dar un valor dependiendo su flujo luminoso.

Se llama flujo luminoso al espectro de luz que se puede definir como: La potencia emitida en forma de radiación luminosa cuya denominación es el watt (W) a la que el ojo humano es sensible, su unidad es el lumen (lm). A su vez este flujo luminoso permite medir la cantidad de luz que emite alguna fuente lumínica. Una bombilla emite luz en todas direcciones del espacio y es diferente a un proyector que sólo ilumina en una dirección específica, sin embargo, los dos tienen un flujo luminoso. Para conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio se define la intensidad luminosa, la cual podemos considerar como el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta expresado en candelas. De tal manera que, tanto la bombilla como el proyector tienen un flujo luminoso, pero con intensidades y direcciones diferentes, esto debido a que su intensidad luminosa es específica para cada luminaria.

Se puede decir que el lumen es la Unidad de flujo luminoso en el sistema internacional equivalente al emitido en un estereorradián por un foco puntual ubicado en el vértice del ángulo sólido, de intensidad de una candela. Y es importante no confundirlo con el Lux.

Por lo anterior se puede definir que del lumen se deriva el Lux, y este se conoce como la unidad de iluminación del sistema internacional equivalente a un lumen por metro cuadrado: 1 lm/m^2 Es importante mencionar que la mayoría de los reglamentos y normas oficiales referencian los requerimientos de iluminación en Luxes.

Finalmente se menciona la luminancia, la cual se define como la intensidad aparente de luz proveniente o reflejada por un objeto o un punto determinado y es el principio básico del interior de los luminoductos empleados en los casos de estudio contenidos en este trabajo.

ESTRATEGIAS DE DISEÑO LUMÍNICO

Cada caso de estudio y propuesta son diferentes, por lo cual se debe realizar un análisis detallado para determinar ¿qué sistema es el más conveniente para su implementación? incluso se puede definir si un edificio es candidato para la correcta implementación de alguno de estos sistemas.

El diseño de iluminación natural debe controlar la cantidad de luz que permitirá irradiar al interior de los espacios y responder a los parámetros recomendados según la actividad a realizar. Para lograr este planteamiento es importante considerar las siguientes estrategias de iluminación natural la cuales son:

- Captación solar.
- Múltiples reflexiones de los rayos solares.
- Distribución de la luz natural.
- Focalización de la luz.
- Análisis arquitectónico.

La captación solar se puede considerar como la proporción de luz solar que se transmite a través de los vidrios, domos, vanos o cualquier espacio translúcido hacia el interior del espacio arquitectónico. Entendiendo que la calidad de la luz dependerá de la naturaleza o del tipo de superficie transparente o translúcida, de la rugosidad, del espesor y la limpieza de esta. Las obstrucciones naturales constituyen una barrera para la radiación y pueden ser caducifolias o perennes, esto también se debe considerar al momento de contabilizar los valores de captación solar.

Por otra parte, se deben considerar las múltiples reflexiones solares sobre el edificio las cuales producen efectos variados dependiendo de las condiciones externas como son el tipo de cielo, los fenómenos atmosféricos, las estaciones, la hora del día, la contaminación, etc. Existen otras obstrucciones físicas en la trayectoria de la luz solar que no se pueden controlar y algunas que sí podemos controlar como son: el emplazamiento, la orientación, la inclinación, el tamaño y el tipo de superficie transparente o translúcida, también son consideradas como reflexiones de los rayos solares.

Para generar una correcta distribución de la luz natural se debe considerar que esta se refleja y distribuye en el interior del espacio, mientras menos obstrucciones físicas o vegetales se tengan, mayor cantidad de luz lograra reflejar. Otro punto importante es la geometría del edificio y la ubicación del mobiliario. Cabe mencionar que el tipo de recubrimientos y acabados de las superficies influye de manera significativa, estos pueden ser mate o brillante. Así mismo, se puede considerar el empleo de vidrios o sistemas reflectantes que permiten a la luz alcanzar puntos distantes del interior del espacio.

En el ejercicio de focalización de la luz, este concepto se puede entender cómo, una acción intencionada y se utiliza cuando se requiere que la luz enfatice bien un espacio o bien un objeto particular. La iluminación cenital o lateral alta crea un contraste luminoso importante a partir de la iluminación ambiental.

Para realizar el análisis lumínico arquitectónico, primero se deben definir o identificar los espacios iluminados o que se pretenden iluminar, así como, los elementos que permiten la penetración de luz y los sistemas de control de iluminación natural que se pueden considerar en su caso. Se deben indicar los elementos que dan paso a la luz, como son los de tipo lateral (ventanas, repisas de luz, muros transparentes), cenital (claraboya o tragaluz, ductos lumínicos o domos) o la combinación de ambos. Los sistemas de control de luz dependen de la calidad y acabados de los materiales (vitrales, vidrios translúcidos o bien opacos, protecciones solares, obstrucciones naturales del entorno, etcétera).

A partir de la identificación y delimitación de los elementos anteriores, se puede definir que método de predicción de iluminación se debe utilizar. Partiendo del estudio de los principios físicos que componen el fenómeno lumínico, con base en las ecuaciones básicas y la definición de las unidades se plantean diferentes métodos de cálculo de la cantidad y distribución de dicho fenómeno. Estos métodos contemplan generalmente cálculos matemáticos, procedimientos gráficos, evaluaciones a escala y/o in situ. Los tres métodos más comunes de predicción fundamentalmente son:

- Métodos Matemáticos.
- Método de Modelos Físicos tridimensionales.
- Métodos Computacionales.

Se puede elegir uno o varios métodos de predicción, esto dependerá del tipo de edificio, sus condiciones y los recursos con los que se cuente para el análisis. Es indispensable conocer los diferentes métodos para poder decidir cuál o cuáles serán los métodos de predicción que se utilizarán en cada estudio.

MÉTODOS MATEMÁTICOS

Generan un análisis cuantitativo mediante el estudio del comportamiento lumínico dentro de una edificación, describen una situación únicamente aproximada, ya que en la realidad las variables que intervienen son cambiantes, además estos modelos se emplean en situaciones específicas que difícilmente se repiten en la práctica. Algunos modelos de predimensionamiento Matemático son: el Método de cálculo del Factor de Día y el Método del Lumen o Método del Flujo Total.

El Método del Factor de Día se le conoce comúnmente como el “Day light Factor Method” su objetivo es conocer la cantidad de luz existente en el ambiente interior; así como, su distribución. Los resultados se presentan en porcentajes respecto al nivel exterior: “Factores de Iluminación Natural” (FIN) o Daylighting Factors (DF). En este caso durante el proceso metodológico, en la fase del proceso del análisis del monitoreo, determina el factor de confort lumínico dentro del espacio arquitectónico.

El Método del Flujo Total, también llamado Método del Lumen llega a ser bastante útil por la rapidez en el cálculo y su aproximación a la realidad. Se basa en el principio de identificación de la cantidad de luz que penetra por la abertura y a partir de las características internas del espacio, deduce la que llegará al plano de trabajo. El método de lumen también se aplica como método de cálculo de iluminación artificial.

MÉTODO DEL MODELO FÍSICO TRIDIMENSIONAL

Existen dos métodos físicos tridimensionales empleados en los análisis de los edificios, la elección de que método se debe emplear dependerá de diversos factores, tales como: los horarios de ocupación y actividades que en ellos se realizan, la accesibilidad al edificio incluso la ubicación de este. En la mayoría de los casos dichos análisis se generan en laboratorios de iluminación donde las condiciones son controladas y el estudio se realiza con modelos a escala, en otras ocasiones las condiciones son favorables y el estudio se desarrolla in situ.

MODELOS REALES

En esta técnica de medición se emplea un lapso de tiempo amplio en el que se realizan mediciones de los valores de iluminancia en un espacio construido o existente. Es muy importante tomar en cuenta para la realización de mediciones el factor del mismo cielo, como el del interior del espacio de estudio. De preferencia, estas mediciones se deben realizar sin ocupantes, lo que finalmente significa una pequeña variación del resultado de las mediciones con respecto al espacio ocupado.

MODELOS EN MAQUETAS

Considerando que los porcentajes de transmitancia son semejantes a la realidad, son una distribución exacta del espacio. La escala de la transmitancia del modelo tridimensional del espacio en proporción, hace posible la reproducción de iluminación natural en el interior del espacio, no solo por el aporte de la luz directa que ingresa, sino, además, por la reflexión en las superficies internas del mismo. En los modelos a escala, la reproducción de la luz es semejante a la realidad por las múltiples reflexiones que ésta tiene al interior de un espacio. En otras palabras, la realización de maquetas de estudio permite evaluar la calidad del espacio iluminado.

CIELO ARTIFICIAL

El cielo artificial se emplea para algunos de los modelos a escala y permite realizar mediciones de intensidad y distribución de iluminación natural en espacios interiores de maquetas de edificios existentes y/o de proyectos en desarrollo. Simula los estándares de la CIE (por sus siglas en inglés (International Commission on Illumination) en cuanto a cielo nublado.

Los modelos de estudio permiten registrar el comportamiento de la luz mediante mediciones realizadas con luxómetros. Los valores de luminancia e iluminancia son iguales en escala a un modelo real si:

- La incidencia de luz es igual.
- Las propiedades de los materiales del modelo son iguales.
- Las proporciones son iguales.
- La transmitancia de los materiales es semejante a la realidad.

Este es un método absolutamente confiable y es más preciso que cualquier simulación digital disponible, los cielos artificiales pueden simular las distribuciones definidas por el cielo cubierto estándar con la luminosidad adecuada y en algunos casos puede estar presente un sol artificial.

El Laboratorio de Arquitectura Bioclimática (LAB), ubicado en la Universidad Autónoma Metropolitana, Campus Azcapotzalco; tiene un cielo artificial, diseñado y construido con base en las normas de la CIE como cielo normalizado o nublado. Permite realizar pruebas en condiciones de cielo nublado a 12000 lux, reflejando las condiciones reales en los modelos tridimensionales que permiten ver el brillo, la cantidad de luz incidente y el efecto en su caso de diversos dispositivos de control solar.

MÉTODOS COMPUTACIONALES

Es prudente señalar que para los métodos computacionales también se genera un modelo tridimensional, pero este no se considera como un modelo físico sino digital. La mayoría de los programas de cómputo que incluyen herramientas para el cálculo de la luz de día, están estrechamente ligados con las condiciones del cielo en cuanto a nubosidad y radiación solar; las dos variables más importantes para determinar la incidencia solar dentro de un edificio. Normalmente es necesario generar un archivo con extensión EPW (Energy Plus Weather) con la mayor cantidad de datos y variables referentes a la radiación para así obtener resultados que se asemejen lo más posible a la realidad.

CASOS DE ESTUDIO

Este trabajo se enfoca particularmente a edificios destinados a las actividades deportivas, generando cuestionamientos tales como: ¿Por qué analizar la iluminación natural en centros deportivos? ¿Qué importancia tienen estos espacios? ¿Qué datos se obtienen al analizar estos edificios? solo por mencionar algunas de las incógnitas que se generan a seleccionar esta tipología de edificación.

Para contestar de manera simple estas cuestiones se puede mencionar que algunos investigadores refieren que el juego de pelota se comenzaba cuando el sol se ubicaba en el cenit y concluía con los últimos rayos de sol del atardecer; las justas medievales se llevaban a cabo a lo largo del todo el día hasta el anochecer; en Inglaterra durante muchos siglos un deporte representativo fue la cacería, la cual comenzaba al despuntar el alba y no se extendía más allá -de las 12 de la tarde. De esta manera la mayoría de las actividades recreativas se practicaban al aire libre y la interacción con el medio ambiente proporcionaba al participante condiciones de iluminación adecuadas. También se puede mencionar que en temporadas invernales se desarrollaban algunos deportes al interior de determinados edificios, como era: el tiro con arco dentro de los castillos medievales, actividad que demandaba una gran cantidad de parafinas encendidas simultáneamente, haciendo que esta actividad demostrativa fuera reservada únicamente para a nobleza. El ejemplo más significativo de los deportes que se practican bajo techo, es el básquetbol, cuando en 1891 se le encomendó al profesor de la Universidad de Springfield (Massachusetts), James Naismith, idear un deporte que se pudiera jugar bajo techo, pues los inviernos dificultaban la realización de alguna actividad al aire libre. Surgiendo así la necesidad explícita de diseñar edificios para el deporte, si bien esto no fue una situación nueva, se toma como punto de referencia, para el desarrollo de estadios techados en los cuales, se determinó que se podían practicar diferentes actividades físicas denominando a estos como centros deportivos.

A continuación, se analizarán dos ejemplos diferentes, en primer lugar, es el edificio denominado Gimnasio de Duela de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, México, en el cual se propone la implementación de luminoductos y finalmente, el Centro Acuático Estadio Nacional en Santiago de Chile que utiliza el sistema de acristalamientos selectivos en los sentido vertical y horizontal, aprovechando la iluminación lateral y cenital.

CENTRO ACUÁTICO ESTADIO NACIONAL, SANTIAGO DE CHILE

Uno de los casos de éxito más representativos de iluminación natural, ya que las superficies del agua de las piscinas son el centro del proyecto y como tal la estética está ligada al proyecto de una manera particular, si bien todas las piscinas deben de recibir tratamiento químico para evitar la generación de microorganismos y mantener el estado incoloro del agua, el sol representa el principal enemigo a vencer. Por otra parte, la incidencia directa sobre la superficie del agua genera una evaporación constante durante el día y esta se verá incrementada por la exposición directa de los rayos solares, este punto se resuelve al implementar tecnología de punta en los sistemas de acristalamiento empleados en este proyecto, pues la cubierta es el elemento arquitectónico de mayor relevancia y define un espacio luminoso y ligero. Expuesto a la radiación directa la mayor parte del día, para evitar las incidencias solares más críticas las gradas están colocadas en el ala oriente, disminuyendo de manera significativa el sobrecalentamiento.

Este edificio permite una propuesta de iluminación natural que ofrece al usuario estar en un confort lumínico adecuado para realizar actividades acuáticas con factores de iluminación natural la mayor parte del día, lo que permite que esta instalación sea eficiente energéticamente por los sistemas de control solar pasivo, con la finalidad de bajar los consumos energéticos.

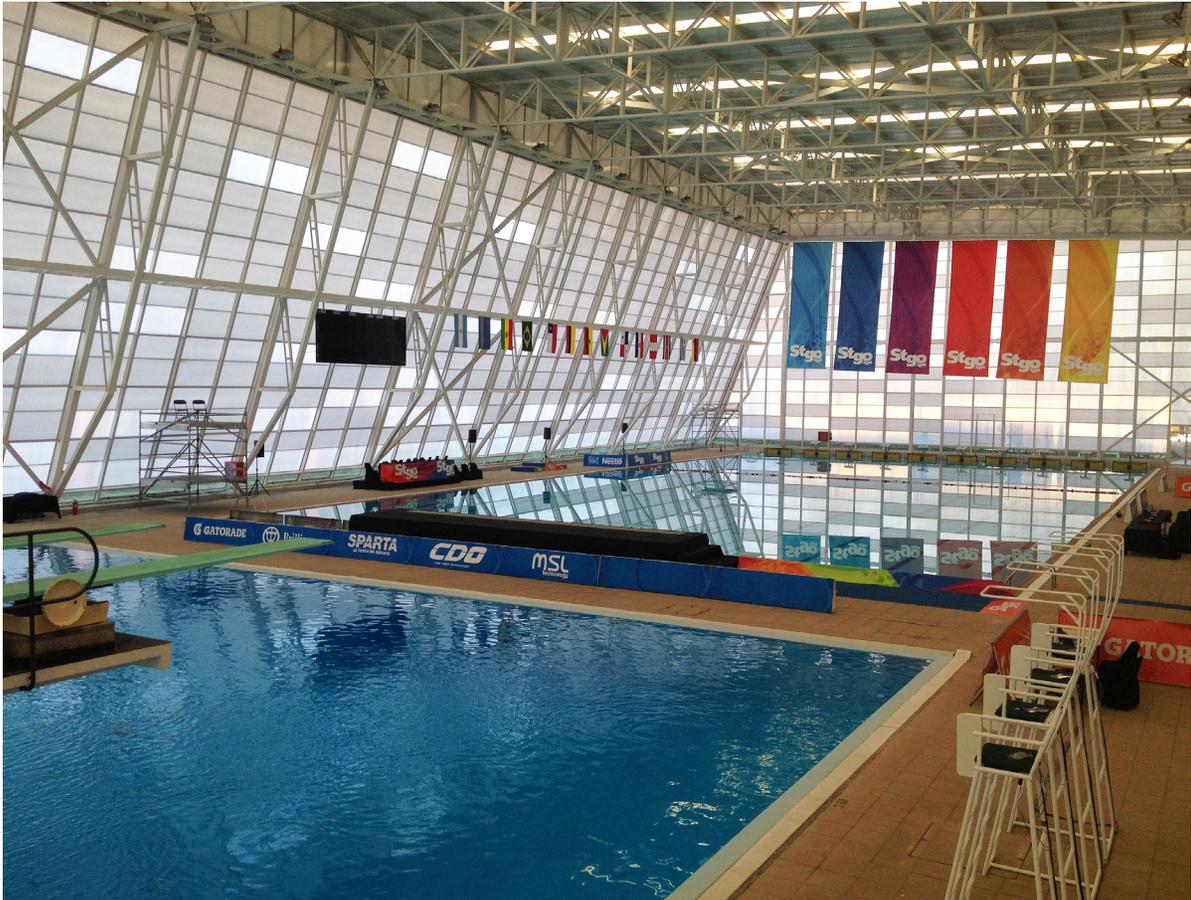


Imagen 1. Centro Acuático Estadio Nacional, Santiago, Chile fuente: <https://es.m.wikipedia.org>

Todo esto se logra a partir de un sistema de innovación tecnológica de acristalamiento selectivo y con características especiales que permiten en su mayoría el paso del espectro solar deseado evitando en su mayoría el ingreso de los espectros ultravioleta y por lo tanto disminuyendo en el interior la frecuencia del infrarrojo. Por otra parte, la selección de algunos acristalamientos translúcidos elimina los deslumbramientos indeseables dentro del campo visual de los ocupantes del edificio. Todo esto apegándose a la normatividad existente de su país, y buscando la mayor parte del tiempo la unificación de los niveles de iluminación para obtener el confort lumínico óptimo del usuario.

GIMNASIO DE DUELA UAM-AZCAPOTZALCO, CIUDAD DE MÉXICO

Este caso refiere al principal de los edificios deportivos de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco y que se caracteriza por su alto consumo energético, ya

que, depende de su instalación eléctrica de iluminación para un óptimo funcionamiento en lo que se refiere a actividades de competencia. Para abordar esta problemática se planteó la implementación de sistemas de alta eficiencia de iluminación natural conocidos como luminoductos, los cuales se describirán de manera detallada más adelante. En este estudio se contemplaron varios factores que influyen de manera directa sobre el edificio, los cuales son la orientación de las fachadas, el color y material de estas, las obstrucciones sólidas y vegetales ubicadas en el entorno, las horas luz/día dependiendo de la época del año, el análisis de insolación, la nubosidad, la radiación total, difusa y directa, el factor de contaminación, esta última se planteó en un inicio por estar cerca de una zona industrial, pero se desechó al no ser constante y no contar con los datos específicos para incluirlos como variable.

Según la IESNA (por sus siglas en inglés *Illuminating Engineering Society of North America*) un gimnasio techado necesita de 250 a 500 lm para su correcta iluminación, la imagen 2 muestran que los luminoductos pueden garantizar, en diferentes épocas del año y diferentes horas del día, la iluminación necesaria para competencia. Si bien es importante mencionar que en invierno se dependerá de la complementación de iluminación artificial para el óptimo nivel lumínico de competencias, se puede lograr una disminución significativa de recursos energéticos y económicos para la institución.



Imagen 2. Gimnasio de duela UAM Azc. Foto S Araizo

Después de varias propuestas se demostró que los modelos de luminoductos más eficientes son los de 60 centímetros con interior reflectante. Para el interior de los modelos a escala se emplearon micas especiales de la marca 3M de alto brillo, el factor de reflectancia de la mica blanca fue del 90% y de la mica aluminizada fue del 95% según datos del fabricante. Cabe mencionar que en el mercado no existen luminoductos con interior blanco, sin embargo, se plantea esta variable de estudio por el alto índice de transmisión de calor que pueden generar los luminoductos metálicos, aportando calor al interior del edificio, lo que generaría un posible sobrecalentamiento en su interior del mismo.

SISTEMAS LUMÍNICOS

Existen diversos tipos de sistemas de iluminación natural pero no todos se pueden considerar como sistemas de alta eficiencia de iluminación natural, ya que para considerarse en este rubro deben cumplir ciertos criterios de diseño y elementos que captan y filtran la radiación solar. En este apartado se describirán las características y componentes de los sistemas de alta eficiencia más comercializados a nivel mundial y de los cuales se tienen mayores referencias. Existen otros sistemas de iluminación natural como lo son la fibra óptica o los heliostatos, pero de manera general, las diferentes industrias explotan otras características propias de cada sistema en diferentes áreas de aplicación.

Es importante aclarar que los sistemas de iluminación natural no solucionan en su totalidad los requerimientos de iluminación artificial, ya que dependen de un recurso temporal: la luz solar. En algunos casos su eficiencia se ve mermada en días nublados, sin embargo, son sistemas lumínicos muy útiles y eficientes en condiciones favorables y representan un ahorro energético importante, el cual se debe aprovechar sin lugar a dudas. A continuación, se muestra un análisis de los principales sistemas de alta eficiencia de iluminación natural, que, si bien no son las únicas soluciones, si permiten aprovechar y controlar de manera más eficiente el recurso de la iluminación natural, los tipos de sistemas considerados son los siguientes:

- Luminoductos.
- Dispositivos de lentes y espejos.
- Heliostatos.
- Sistemas de acristalamientos especiales.
- Domos.

También es importante no olvidar otros elementos como lo son: los atrios, patios interiores, ventanas y demás elementos arquitectónicos que proveen de luz natural principalmente de manera lateral.

En lo que respecta a los luminoductos de manera comercial existen diversas marcas de estos sistemas, todos emplean el mismo principio y constan de tres partes: en inicio se requiere de un captador solar que guiará y controlará la dirección de la luz por medio de un conductor altamente reflectante para aprovechar al máximo la luz captada que finalmente tendrá salida por medios de un difusor o emisor de luz al espacio interior. Estos sistemas son utilizados cuando en un espacio no se tienen posibilidades de recibir la luz natural o porque se considera insuficiente la luz natural que ingresa.

Captador solar tipo boyas prismáticas y estrías en su interior que captan los rayos solares de menor inclinación y una placa reflectora que los desvía al interior, como se observa en la imagen 3.

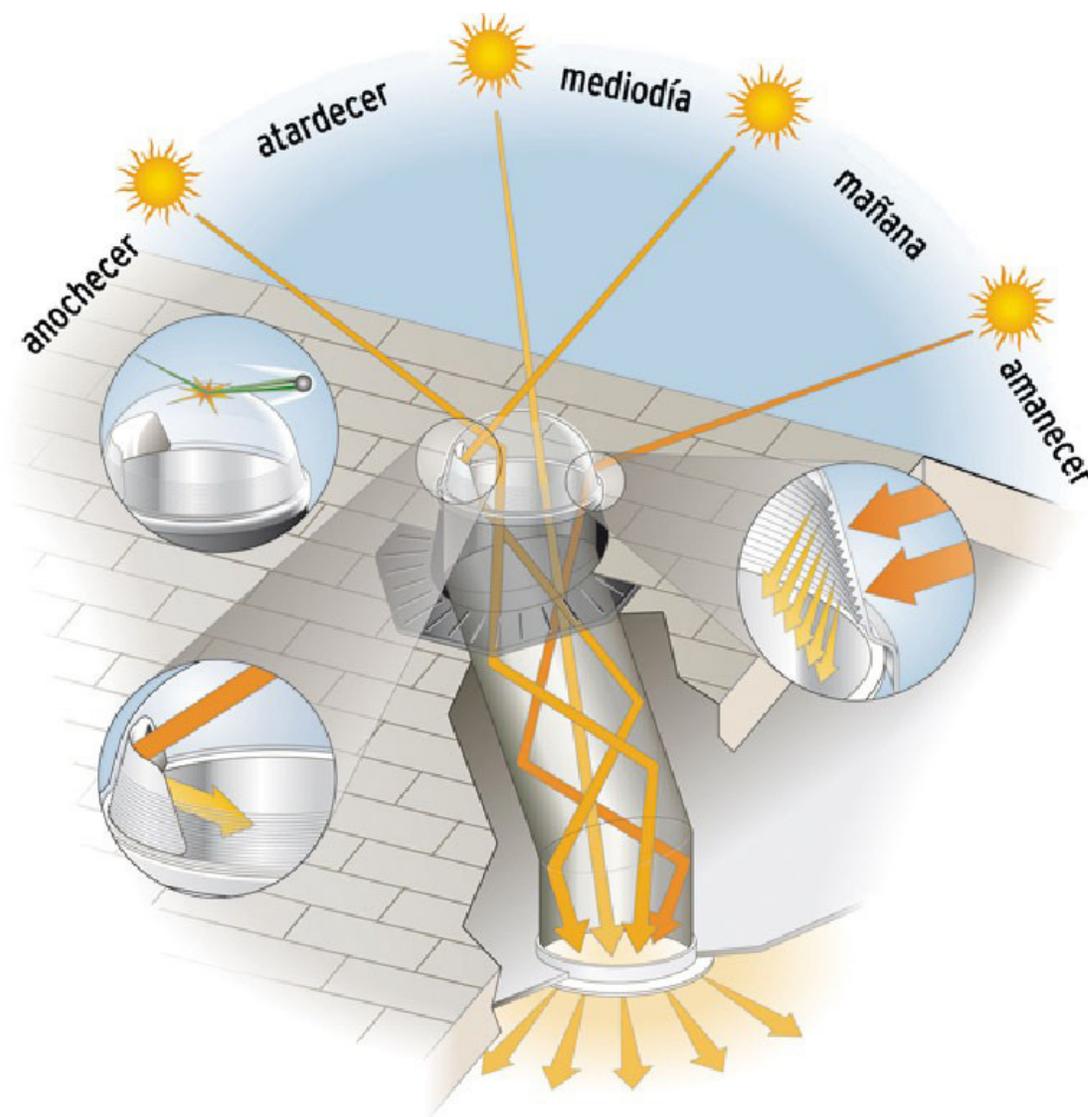


Imagen 3. BVoya solatube, fuente <https://www.solatube.com.mx/>

Como se observa en la imagen 4, también existen captadores planos que manejan una celosía en su interior y que son más estéticos sin que esto disminuya su eficiencia; incluso se pueden colocar en zonas abiertas mostrando gran resistencia al tránsito peatonal y motorizado, implementando así una mayor versatilidad en su uso y disposición. Estos últimos pueden contener gases para dar un mayor aislamiento térmico y acústico.



Imagen 4. Difusor flat top para tránsito ligero y medio, fuente <https://www.deplosun.com/>

Los ductos conductores principalmente de aluminio o plateados por tratamiento de iones de plata, presentan gran versatilidad. Pueden ser rectos o adoptar la trayectoria necesaria para llegar a su destino final como se muestra en la figura 5.

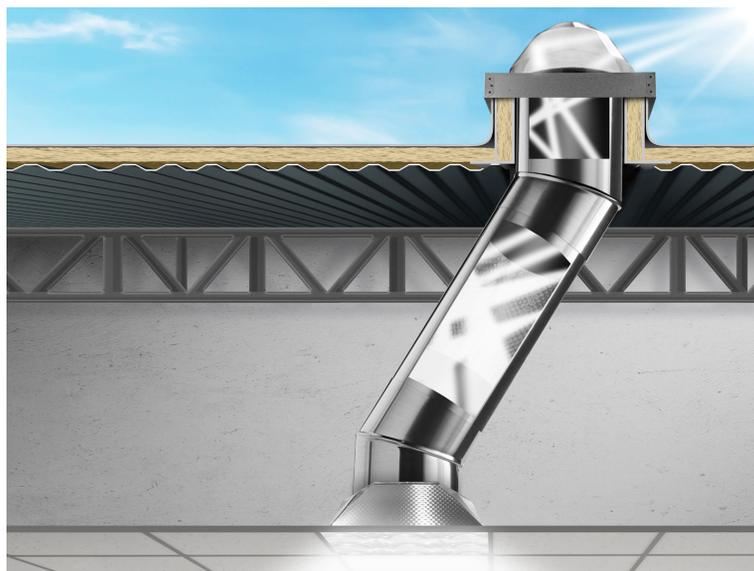


Imagen 5. Ducto de una salida, fuente <https://www.solatube.com.mx/residencial/>

También existen elementos adaptables de máximo tres salidas como se observa en la figura 6. Esto es posible debido a una boya de gran tamaño y un adaptador que distribuye la luz en tres secciones iguales, en ambos casos es importante considerar que esto elevará el costo de instalación y aumentará la cantidad de material.



Imagen 6. Adaptador con salida triple, fuente <https://www.speaweb.it/soluzioni/luce-solare-naturale/>

Los difusores son el último elemento del sistema de iluminación natural y existen diversos materiales, formas y acabados. Algunos difusores opalinos asemejan luminarias eléctricas (figura 7). Todos ellos optimizan el flujo luminoso dando como resultado una luz uniforme y evitan los posibles deslumbramientos. Así como los captadores tienen filtros de luz ultravioleta e infrarroja, los difusores manejan también estos filtros para garantizar el aislamiento térmico y evitar la decoloración de los diversos objetos al interior de los espacios.



Imagen 7. Difusor OptiView® circular

CONCLUSIONES

Después del análisis de este trabajo se pueden generar diferentes opiniones, las cuales dan lugar a nuevas hipótesis o preguntas de investigación, así como, criterios generales sobre este tema. En lo general, se puede decir que la iluminación natural resuelve de manera parcial los requerimientos de iluminación de un espacio, y para la correcta ejecución de algunas de las actividades a realizar en ocasiones se requiere de un sistema híbrido de iluminación, de tal manera que, el diseño del edificio, la implementación de dispositivos de alta eficiencia de iluminación natural y los horarios de uso, suman en sí, el aporte de ahorro energético o en su caso de eficiencia lumínica. Para el caso de los centros deportivos, así como para cada edificio temático, es necesario realizar un estudio individual de las actividades a desempeñar, ya que, cuando se analizan de manera particular se descubren actividades como las transmisiones televisivas que tienen en sí sus especificaciones técnicas de iluminación peculiares.

Sin embargo, el aspecto más importante en el aprovechamiento de la iluminación natural es su uso como sustituto o complemento de la iluminación artificial, al considerar que las normas mexicanas requieren niveles de iluminación interior entre los 20 y 2000 luxes para el correcto desempeño de distintas actividades físicas y de recreación; desde las más simples hasta las que tiene el más alto grado de especialización en la distinción de detalles; razón y motivación para aprovechar este recurso natural.

Por otra parte, los sistemas de iluminación natural de alta eficiencia han evolucionado mucho en poco tiempo, pues en un inicio solo se planteaba su uso en azoteas y en horarios diurnos; en la actualidad, se pueden encontrar en el mercado soluciones integrales para los horarios nocturnos empleando las mismas instalaciones, complementando el óptimo desempeño de la iluminación natural con lámparas ahorradoras o dispositivos de LEDS. Otra ventaja es que se ha logrado implementar la ventilación a la iluminación resolviendo de manera integral diferentes problemáticas.

Algunos de los sistemas de acristalamiento de alto rendimiento, remontan a la arquitectura de fachada libre, obteniendo grandes claros en las fachadas y controlando de una manera efectiva la cantidad de calor que ingresa al edificio. Esto ofrece al usuario una alternativa más de diseño.

Por último, es importante mencionar que estos dispositivos tienen amplias posibilidades de desarrollo tecnológico y si bien en este momento representan un importante ahorro al consumo energético, al medio ambiente y al diseño del edificio; su correcta implementación logrará un mejor equilibrio en el aprovechamiento e implementación al diseño, así como al usuario final.

Aplicaciones viables y efectivas con luz natural para la preservación de la salud

José Roberto García Chávez¹

¹ Profesor investigador de la División de Ciencias y Artes para el Diseño, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco. Correo: jgc@azc.uam.mx

RESUMEN

La premisa fundamental del hábitat desde las primeras manifestaciones del hombre, estuvo orientada a diseñarlo y construirlo para brindar protección y abrigo de los elementos adversos del entorno circundante. Esta premisa principal, que debería estar vigente en la arquitectura actual, lamentablemente no es así. Ciertamente, poseer condiciones confortables y saludables en el hábitat del hombre es una premisa primordial que debe aplicarse en los diversos géneros de edificaciones. El logro de estas condiciones depende de varios factores que se interrelacionan en la arquitectura. Uno de estos factores es el relacionado con la luz natural. Además, un concepto de vital importancia es que la luz natural está directamente relacionada con la salud de los ocupantes de los edificios y con el contexto exterior. Indudablemente, la luz natural es un aspecto fundamental de todas las especies en el planeta. Sin embargo, debido a una forma de vida carente de valores humanos y la intrínseca relación del clima, los humanos a menudo ignoran su importancia. La luz del día puede tener un profundo impacto en nuestro bienestar general, principalmente en situaciones de afectaciones en la salud. En este trabajo se analizan los factores de la luz natural que intervienen de manera particular en la salud y la productividad de los ocupantes de edificios y se plantean diversas alternativas de solución. Los resultados obtenidos confirman que, además de obtener beneficios con la implementación de estrategias para el aprovechamiento de la luz natural, se puede lograr una mayor productividad y condiciones saludables en los ocupantes en sus espacios arquitectónicos; así como importantes ahorros de energía eléctrica, disminuyendo su consumo, proveniente en su mayoría del uso y quema de combustibles fósiles; lo que a su vez puede contribuir a disminuir la emisión de Gases de Efecto Invernadero a la atmósfera y mitigar el Cambio Climático, que afecta severamente al medio ambiente y a los ecosistemas a nivel global.

Palabras clave: Luz Natural, Salud, Edificaciones, Ocupantes, Medio Ambiente, Sostenibilidad, Arquitectura.

ABSTRACT

The fundamental premise of the habitat from the earliest manifestations of man has been to design and build it to provide protection and shelter from the adverse elements of the surrounding environment. This main premise, which should be valid in today's architecture, is unfortunately not the case. Certainly, having comfortable and healthy conditions in man's habitat is a primary premise that must be applied in the various types of buildings. The achievement of these conditions depends on several interrelated factors in architecture. One of these factors is related to natural light. Furthermore, a vitally important concept is that daylight is directly related to the health of building occupants and to the external context. Undoubtedly, natural light is a fundamental aspect of all species on the planet. However, due to a way of life devoid of human values and the intrinsic relationship of climate, humans often ignore its importance. Daylight can have a profound impact on our general well-being, mainly in situations of health impairment. This paper analyses the daylight factors that are

particularly relevant to the health and productivity of building occupants and proposes alternative solutions. The results obtained confirm that, in addition to obtaining benefits with the implementation of strategies for the use of natural light, it is possible to achieve greater productivity and healthy conditions in the occupants of their architectural spaces; as well as significant savings in electricity, reducing its consumption, which comes mostly from the use and burning of fossil fuels; which in turn can contribute to reducing the emission of Greenhouse Gases into the atmosphere and mitigate Climate Change, which severely affects the environment and ecosystems globally.

Keywords: Natural Light, Health, Buildings, Occupants, Environment, Sustainability, Architecture.

INTRODUCCIÓN

En la práctica de la arquitectura, la iluminación natural se refiere al uso de luz natural, ya sea luz solar brillante proveniente de la irradiación solar directa (aquí definida como "luz sólida") o bien luz difusa proveniente de la bóveda celeste en condiciones de cielo nublado, para satisfacer las demandas lumínicas y visuales de los ocupantes en sus edificaciones.

Para que un espacio se considere bien iluminado, debe utilizar la luz natural como la fuente principal de iluminación durante el día, crear un espacio arquitectónico lumínica, visual y térmicamente confortable, interrelacionado armónicamente con el contexto exterior y que los sistemas de iluminación eléctrica para el alumbrado sean de alta eficiencia y se integren y complementen con los sistemas de iluminación natural. Esto implica obtener condiciones óptimas de confort lumínico visual en los espacios arquitectónicos con el mínimo consumo de energía.

Además, la iluminación natural posee múltiples beneficios estéticos y para la salud, ya que los entornos con luz diurna aumentan la productividad y el confort lumínico y visual de los ocupantes, y proporcionan la estimulación mental y emocional necesaria para regular los ritmos circadianos humanos, que juegan un papel esencial en la salud de las personas. Ciertamente, la salud siempre ha sido un tema prioritario para el ser humano, ésta depende de muchos factores, pero sin duda, uno que resulta extremadamente importante es el relacionado con el acceso a la luz natural, la cual es imprescindible para todo ser vivo ya que rige los ciclos de la naturaleza y sus ritmos cotidianos. La luz natural no solo permite una mejor visión de las cosas, sino también permite tener una vida más saludable a nivel fisiológico, emocional y psicológico. En estudios previos en los cuales se investigó la influencia de la luz sobre el ser humano en edificios educativos, de oficinas y centros comerciales; los resultados demostraron que la luz natural tiene una influencia positiva para el rendimiento y aprendizaje, además de favorecer la salud (Heschong, L. et al., 2013).

En la actualidad, nuestro estilo de vida nos ha llevado a tener que vivir sin luz natural gran parte del tiempo que le dedicamos al trabajo, la mayoría de las veces los edificios de oficinas o el mismo mobiliario se encuentra mal orientados a las aberturas de la iluminación

natural, no dejando otra alternativa más que usar la iluminación artificial; pero ¿por qué es importante para el ser humano la luz natural? La luz es el marcador temporal de nuestro reloj biológico, un factor importante que influye en el estado de ánimo de las personas desde un punto de vista tanto psicológico como fisiológico. Al exponernos al sol, la mayor parte de la luz que recibimos entra al interior de nuestro organismo a través de la piel, que es el órgano más grande del cuerpo humano y puede cubrir entre 1.2 y 2 metros cuadrados de superficie; y en un adulto promedio, la piel pesa alrededor de 5 kilogramos, lo que equivale a 1/6 del peso corporal. Por lo tanto, la acción de la luz natural activa el metabolismo en diversas áreas, además de influir en los niveles hormonales y en el sistema inmunológico; así como en la asimilación de vitaminas, sobre todo la vitamina D, que durante la pandemia del SARS-CoV-2 y la COVID-19, que ha afectado severamente a la humanidad. En síntesis, es altamente recomendable la exposición moderada y controlada a la luz natural, sobre todo durante la mañana.

Asimismo, con el descubrimiento de la vitamina D, la "Vitamina del Sol" y su capacidad para obtener y convertir calcio en el cuerpo con la exposición a la luz solar, también se contribuye a enfrentar la enfermedad del raquitismo, que está directamente relacionado con la falta de luz solar, que se presenta principalmente en lugares en latitudes nórdicas, donde hay poco acceso a la irradiación solar, particularmente en el invierno; o también por una deficiente y pobre exposición a la luz solar.

Otras investigaciones que se han desarrollado en torno a la relación de la luz natural en la arquitectura y sus beneficios en la salud de las personas, y han planteado el proceso de como percibe el cerebro los espacios en los que se habita y la forma en que la iluminación natural influye en él, para así poder concebir edificios que respondan a las necesidades de las personas y sus emociones (Eberhard, J, 2009).

Así mismo, contar con iluminación natural al interior de los espacios arquitectónicos a través de sistemas de ventanería diseñados adecuadamente, puede contribuir a reducir condiciones de estrés, disminuyendo la incidencia de problemas de salud a nivel emocional en los ocupantes de las edificaciones.

LOS EFECTOS DE LA LUZ NATURAL EN LA VISIÓN

La iluminación natural y la visión tienen una importancia esencial en el ser humano. El ojo es el órgano que hace posible la función de diferenciar diversos matices que nos permiten ver diferentes colores, contrastes, etc. El ojo humano cuenta con una barrera de protección que lo protege en buena medida de las radiaciones nocivas.

La misión de este sistema óptico consiste en reproducir sobre la retina las imágenes exteriores. Este sistema se compone de las siguientes capas, de afuera hacia adentro: Capa externa: esclerótica y córnea; Capa media: coroides, iris, diafragma, cuerpo ciliar y cristalino. Capa interna: retina, humor acuoso y vítreo (Figura 1).

Por lo tanto, el proceso visual es un proceso tanto sensorial como motor, por medio del cual se pueden diferenciar tres etapas. La primera consiste en una etapa física en la que la luz que es reflejada por un objeto y penetra en el ojo para posteriormente atravesar las diferentes estructuras transparentes: córnea, humor acuoso, cristalino y humor vítreo, hasta llegar a enfocarse en la retina; que es una fina película sensible a la luz, sobre la que se proyecta la imagen que recibe del exterior. Es en esta área donde dos tipos diferentes de fotorreceptores absorben fotones de luz incidente y los convierten en señales fotoeléctricas, que tienen como función convertir la luz capturada del exterior en señales que se envían al cerebro: Los conos y los bastoncillos. Los primeros son sensibles al color por lo que requieren condiciones de iluminación elevadas, y los segundos, sensibles a la forma y funcionan en condiciones de bajos niveles de iluminación.

Por lo tanto, los bastones y los conos son células fotorreceptoras que traducen la luz entrante en señales que se transmiten al cerebro, a través del nervio óptico, para traducirlas en colores y, posteriormente, interpretarse y fusionarse en imágenes. Los bastones traducen la intensidad y los conos traducen el color (Figuras 1 y 2).

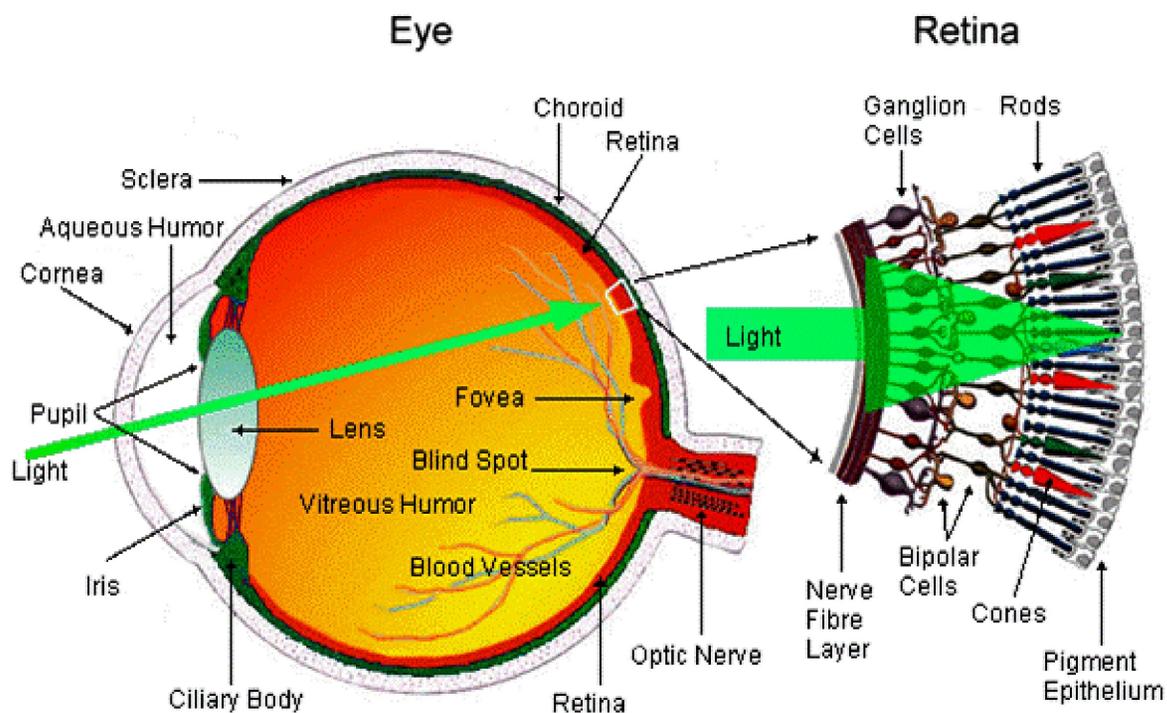


Figura 1. Estructura del órgano de la visión

Fuente: <https://www.sas.upenn.edu/~ksundeen/spec%20project%20stuff/Eyes%20and%20Spectrometers.html>

Capturada: Agosto 27, 2024.

Esta luz emitida del exterior pasa a través de la córnea, que actúa como lente refractivo, a su vez, la pupila actúa como una rendija o abertura. Posteriormente, la luz viaja a través de la retina, donde los bastones y los conos actúan como un prisma, difractando la luz y enviando la información a los nervios ópticos para que el cerebro los compile e interprete (Figura 2).

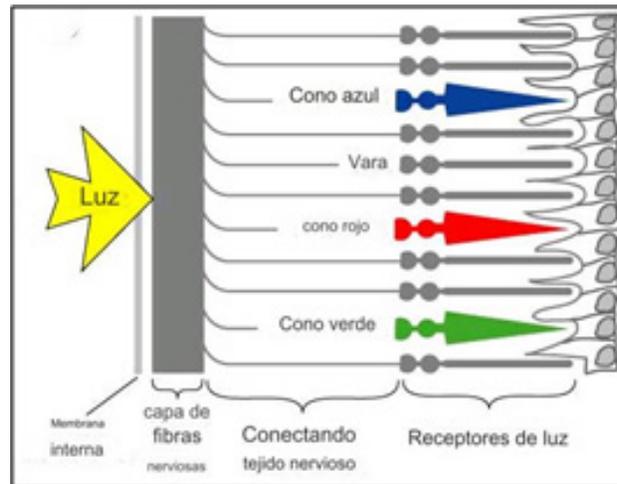


Figura 2. Conos y su función receptora.

Fuente: <https://www.sas.upenn.edu/~ksundeen/spec%20project%20stuff/Eyes%20and%20Spectrometers.html>

Capturada: Agosto 27, 2024

Estos fotorreceptores son los que hacen posibles la visión para el ojo humano, siendo los bastones los que tienen mayor sensibilidad absoluta a la luz, por lo que son los responsables de la visión nocturna; mientras que los conos son menos sensibles a la luz, se diferencian por su sensibilidad y longitud de onda y actúan principalmente durante el día. Existen tres tipos de conos, identificados como: los rojos, verdes y azules. Estos tres tipos de conos son los responsables de la percepción del color (Figuras 1 y 2). Los conos rojos, representan el 64% del total y son conocidos como L-conos, que maximiza la sensibilidad a la luz de los colores de onda larga. Los conos verdes, representan el 32% del total, conocidos como M-conos, encargados de maximizar la sensibilidad a la luz de los colores de onda media, y los conos azules, que representan del 2% al 7% del total, identificados como S-conos, que funcionan para maximizar la sensibilidad a la luz de los colores de onda corta (Figura 2).

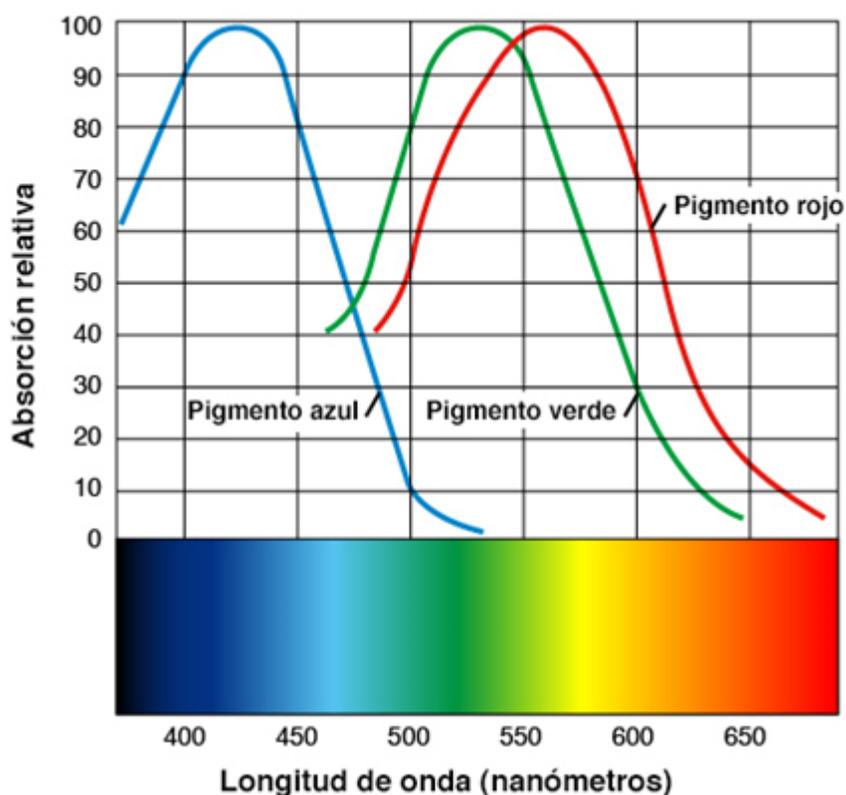


Figura 3. Tipos de conos fotorreceptoras y su relación con la longitud de onda de la banda de la luz visible del espectro electromagnético

Fuente: <https://www.sas.upenn.edu/~ksundeen/spec%20project%20stuff/Eyes%20and%20Spectrometers.html>

Capturada: Agosto 27, 2024.

Cada uno de los tres tipos de conos es sensible a una amplia gama de colores y longitudes de onda de la luz del espectro electromagnético que corresponde a la banda de la luz visible (Figura 3).

Los tres tipos de conos se necesitan para para ver la extensa escala de todos los colores. Los conos son responsables tanto de la agudeza visual, como de la diferenciación de colores. Los sensibles a la luz verde y a la luz roja se concentran en la fovea y representan la mayoría de los conos totales, además los sensibles a la luz azul, en la parte exterior de la fovea, tienen una dimensión mayor, pero están presentes en un menor número de fotorreceptores.

ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y SECCIÓN DE LA LUZ VISIBLE

El espectro electromagnético es el conjunto de todas las radiaciones electromagnéticas que existen, y la luz visible es la parte de este espectro que los ojos humanos pueden percibir. El espectro electromagnético incluye radiaciones con diferentes frecuencias y energías, que se pueden dividir en grupos como radio, microondas, infrarrojo, luz visible (esta se encuentra entre 380 y 780 nanómetros de longitud de onda), ultravioleta, rayos X y rayos gamma (Figuras 4 y 5).

La luz visible, también conocida como espectro visible, cubre los colores del azul a 400 nanómetros (nm) al rojo a 700 nm. La luz azul tiene menor longitud de onda, pero más energía que la roja. En el espectro electromagnético, la relación entre la longitud de onda (λ) y la frecuencia (ν) es la siguiente: $\nu = c / \lambda$

Donde:

ν = frecuencia de la onda en Hertz (Hz)

c = velocidad de la luz en el vacío en m / s

λ = longitud de onda en metros o nanómetros (m o nm)

Por lo tanto, a mayor longitud de onda (nm), menor frecuencia (Hz) y viceversa.

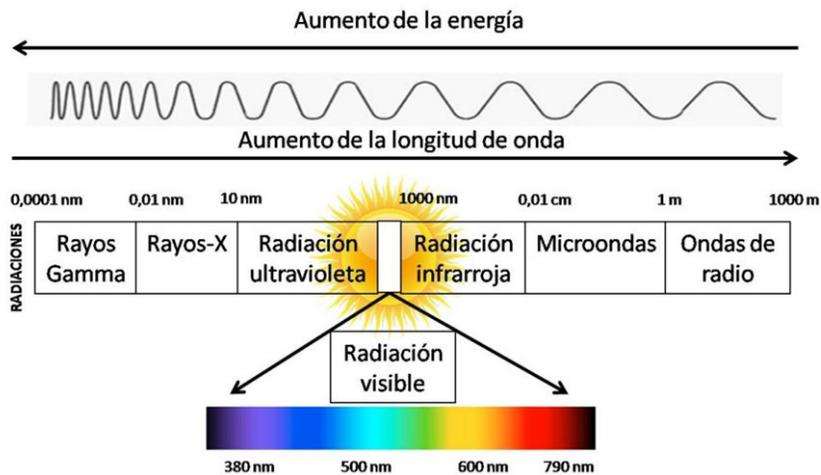


Figura 4. Espectro electromagnético. Relación de longitud de onda (en nm) y frecuencia (en Hertz).

Fuente: <https://hispanopticas.com/las-radiaciones-ojo-i-los-tipos-radiacion/>

Capturado: Agosto 27, 2024.

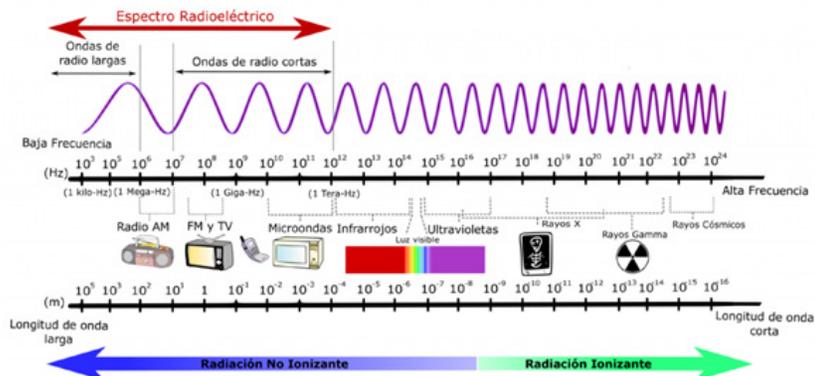


Figura 5. Espectro electromagnético con todas las radiaciones y su longitud de onda.

Fuente: <https://nuevaescuelamexicana.sep.gob.mx/detalle-ficha/4730/>

Capturado: Agosto 27, 2024.

La frecuencia de la luz solar (luz visible) es la línea divisoria entre la radiación ionizante (rayos x, rayos cósmicos), más potente y de frecuencias más altas, y la radiación no ionizante, más benigna y de frecuencias más bajas. En el extremo superior, a la derecha del espectro de la luz visible, está la radiación infrarroja. Más a la derecha, encuentra toda la amplia gama de radiofrecuencias, que incluye (en orden descendente) las microondas, la radio celular, la televisión, la radio FM y AM, las ondas cortas. Los colores de la luz visible son: rojo, naranja, amarillo, verde, azul, índigo o añil y violeta. Sus anchos de banda se ilustran en la Figura 6.

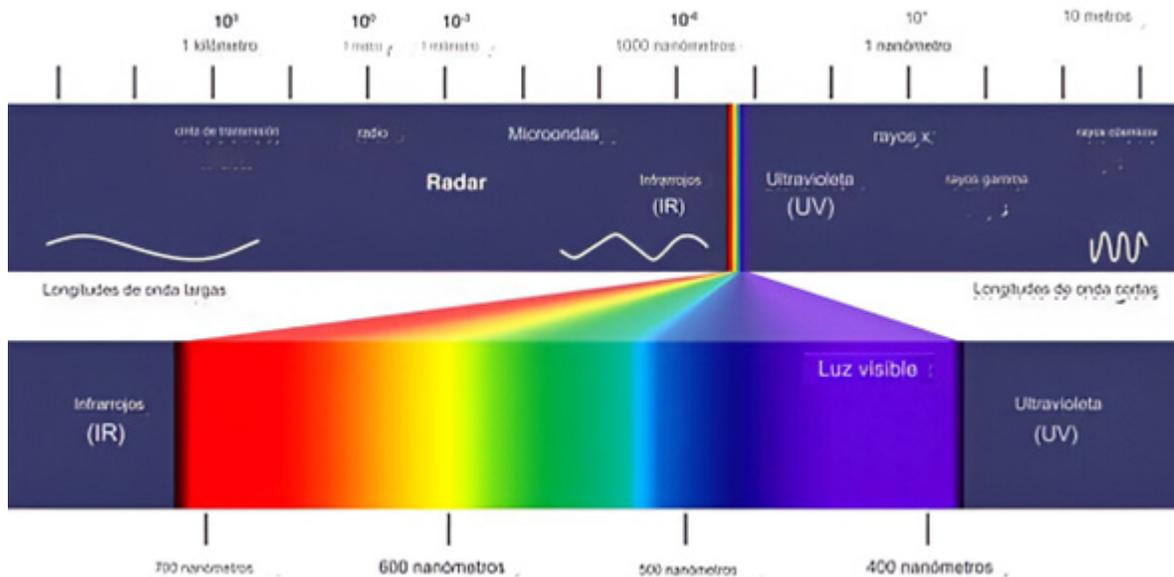


Figura 6. Longitudes de onda de los colores en el espectro electromagnético

Fuente: <https://es.quora.com/Qu%C3%A9-color-tiene-la-longitud-de-onda-m%C3%A1s-alta>
Capturado Agosto 29, 2024.

Con base en el experimento de Newton, realizado en 1665 en su laboratorio, para explicar la naturaleza y origen de los colores, utilizando un prisma refractante e incidiendo en éste un rayo de luz solar que pasó a través de un orificio de aproximadamente 6 mm. Esta luz “blanca” proveniente del sol se descomponía por el efecto de refracción del prisma en siete colores característicos (Figuras 7 y 8).

En estas figuras se observan las longitudes de onda de los siete colores del espectro de la luz visible y sus correspondientes valores en nanómetros (1 nanómetro es una unidad de longitud que equivale a una mil millonésima parte de un metro, es decir 1×10^{-9} metros). Este descubrimiento, por su carácter trascendente, se publicó en 1672 en la revista científica Royal Society, de Londres, Inglaterra, llamada: Philosophical Transactions (<https://royalsocietypublishing.org/toc/rstl/1672/6/80>).

Además, como verificación, posicionó dos prismas de manera que los rayos con los colores que salían del primero se conjuntaban al pasar por el segundo, dando lugar nuevamente a la luz blanca inicial. Este artículo se considera una base de la óptica moderna e incluye lo

siguiente: Refracción de la luz: el experimento de Newton y, como ya se describió anteriormente, consistió en hacer pasar luz a través de un pequeño agujero en un trozo de madera para obtener un haz de luz puro. También refractó la luz azul a través de un segundo prisma para mostrar que seguía siendo azul. Color: Newton demostró también que la refracción de un rayo está ligada a su color, y que el color es una propiedad intrínseca de la luz y planteó que la luz es una sustancia material.

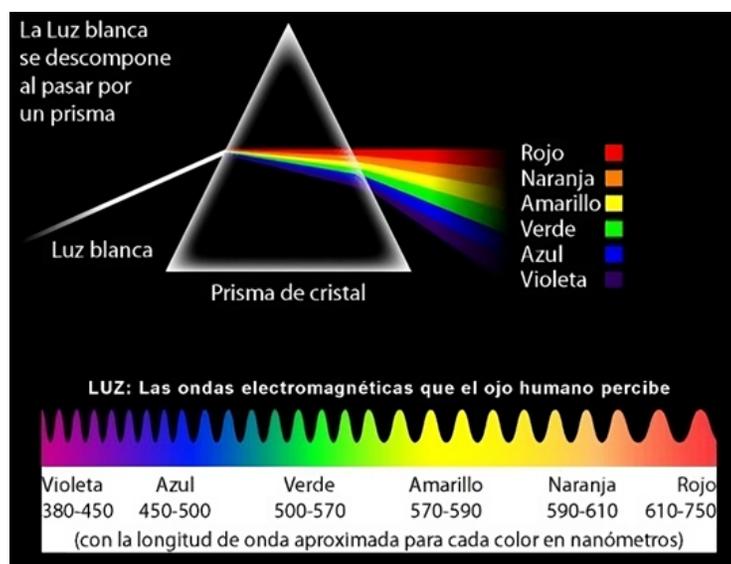


Figura 7. Longitudes de onda de los colores en el espectro electromagnético
Fuente: <https://www.massscience.com/el-universo-a-distintas-frecuencias-y-colores/>
Capturado Agosto 29, 2024.

Los colores con una longitud de onda más corta, como aquellos en el extremo azul y violeta del espectro de la luz visible, tienen más energía que los colores con una longitud de onda más larga.

| VIOLETA | AZUL | CYAN | VERDE | AMARILLO | NARANJA | ROJO |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Entre 380 y 427 nanómetros | Entre 427 y 476 nanómetros | Entre 476 y 497 nanómetros | Entre 497 y 570 nanómetros | Entre 570 y 581 nanómetros | Entre 581 y 618 nanómetros | Entre 618 y 780 nanómetros |

Figura 8. Longitudes de onda de los colores en el espectro electromagnético
Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en la Figura 7 dentro del espectro de la luz visible (de 380 a 780 nanómetros), la luz azul es la más cercana a las radiaciones ultravioleta, con longitudes de onda "cortas", de 380 a 500 nanómetros, correspondientes a la luz visible de mayor energía o de más alta energía, y es una tercera parte de todo el espectro de la luz visible, por lo tanto, la radiación solar es de un 25% a un 30% de luz azul. Por lo que respecta a las fuentes artificiales, el 40% de estos dispositivos electrónicos es de luz azul (computadoras, celulares, pantallas, tabletas, lámparas, etc.).

Así mismo, la luz natural del sol tiene diferentes tonalidades y longitudes de onda. La Figura 9 ilustra las tonalidades de la luz natural a lo largo de un día típico.

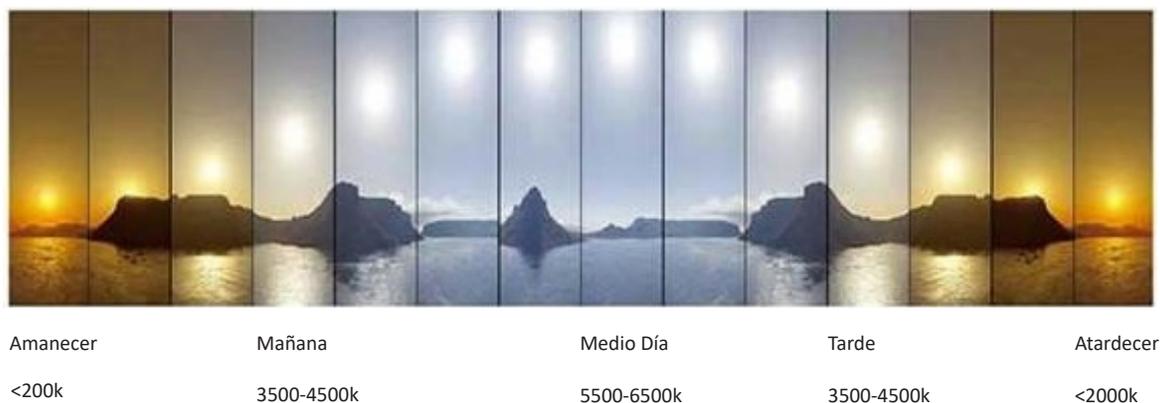


Figura 9. Variación de Temperaturas Corregidas de Color de la Luz Natural o tonalidades durante un día típico.

Fuente: <https://www.sunlightinside.com/light-and-health/whats-special-about-natural-light/>

Capturada Septiembre 3, 2024

AFECTACIONES DE LA LUZ AZUL EN LA SALUD VISUAL Y ACCIONES PARA AMINORARLAS Y/O EVITARLAS

La luz azul es un color del espectro de luz visible que los ojos humanos pueden percibir, tiene longitudes de onda en el rango de 380 a 500nm. Es un tipo de luz visible de alta energía (HEV) con una longitud de onda corta y una alta frecuencia. En general, cuanto más corta es la longitud de onda, mayor es la energía. Por lo tanto, debido a su corta longitud de onda, la luz azul tiene más energía. La luz azul está presente en la luz natural, pero también la emiten dispositivos electrónicos como teléfonos inteligentes, tabletas y pantallas de computadoras, entre otros.

Es importante mencionar que las longitudes de onda de 400-490 nm pueden dañar la retina, y la gama espectral de 415-455 nm puede ser la luz más dañina. Esta corta longitud de onda significa que la luz azul tiene mayor energía que otros colores. Como resultado, la luz azul puede penetrar en el cristalino y causar daños en el ojo, lo que la convierte en potencialmente dañina para nuestros ojos.

La luz azul se ha asociado a diversas afectaciones visuales, tales como: deslumbramiento, daño en células de la retina, "ojos secos", sensibilidad a la luz, dolores de cabeza de cuello y de hombros, visión borrosa y fatiga visual, entre otras. Estas afectaciones pueden ser más severas con el paso del tiempo. La luz azul puede atravesar la córnea y llegar a la retina, en la parte posterior del ojo, que es la capa sensible de tejido que contiene las células fotorreceptoras, que responden a la luz, y que a su vez transmite señales al cerebro (Figuras 1 y 10).

Por otra parte, nuestros patrones de sueño también pueden verse alterados por la luz azul, debido a su supresión de la hormona de la melatonina, que es la responsable de regular nuestro ciclo sueño-vigilia y de promover y preservar condiciones saludables en el cuerpo humano.

Ciertamente, la exposición a la luz azul a lo largo del tiempo puede aumentar el riesgo de degeneración macular asociada a la edad, que es una enfermedad ocular progresiva que puede causar daños irreversibles en la retina. Se cree que la luz azul daña las células de la retina al provocar estrés oxidativo, lo que puede contribuir al desarrollo de la degeneración macular asociada a la edad.

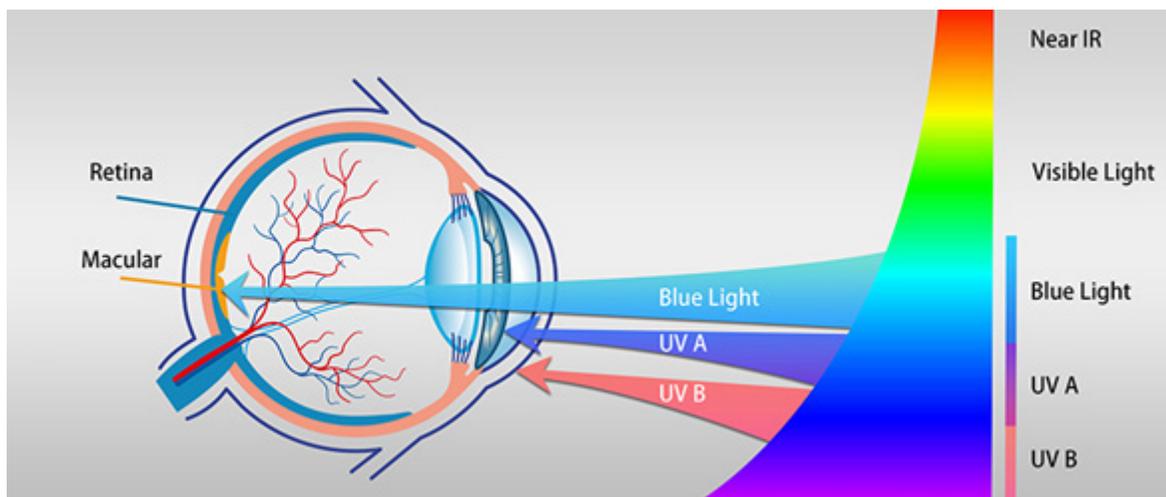


Figura 10. Trayectoria de la luz azul en el ojo.

Fuente: <https://mx.msi.com/blog/blue-light-and-its-impact-on-eye-health>

Capturada: Septiembre 3, 2024

Algunas acciones para proteger nuestros ojos de la luz azul incluyen limitar el tiempo que pasamos frente a una pantalla y/o hacer pausas frecuentes cuando se utilizan dispositivos que emiten esta luz. La Asociación Americana de Optometría (American Optometric Association AOA) recomienda la regla 20-20-20, diseñada para tomar descansos, prevenir la fatiga visual y así cuidar de nuestra salud ocular por el optometrista Jeffrey Anshel. Esta práctica que consiste en hacer una pausa de 20 segundos como mínimo, cada 20 minutos que se pase mirando a una pantalla electrónica de una computadora y mirar algo a 20 pies de distancia como mínimo (6 metros), o también mirar a través de una ventana a un objeto que lejano, como un árbol o un edificio (<https://www.optometryadvisor.com/features/digital-eye-strainmay-not-be-solved-by-the-20-20-20-rule/>). Esta simple acción permite a los ojos relajarse y reenfocarse, reduciendo el riesgo de fatiga y otras afectaciones oculares.

PANDEMIAS HISTÓRICAS Y SU RELACIÓN CON LA FALTA DE ACCESO A LA LUZ SOLAR

En todas las pandemias históricas de la humanidad ha habido una relación directa entre la falta de acceso a la luz solar (directa o difusa) intramuros y en el exterior, así como la falta de higiene y, eventos meteorológicos, como erupciones volcánicas, y más recientemente, las acciones antropogénicas que se manifiestan por la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y el Calentamiento Global (CG), los que han provocado el deterioro ambiental y el Cambio Climático (CC). Además, el uso excesivo de los recursos naturales predispone a las poblaciones a una riesgosa situación de alta vulnerabilidad, lo que ha provocado, cada vez con mayor frecuencia, fenómenos meteorológicos extremos como intensas olas de calor,

sequías prolongadas, abundantes lluvias, ciclones y tornados, entre otros, que han afectado severamente a las poblaciones en diversas regiones del planeta y son una probable causa de múltiples afectaciones en la salud de las personas.

ACCIONES PARA EVITAR LAS AFECTACIONES EN LA SALUD DE LAS PERSONAS CON BASE EN LA UTILIZACIÓN DE LA LUZ NATURAL

Las experiencias obtenidas a partir de las pandemias históricas y para contrarrestar sus efectos, se propuso que las construcciones tuvieran una menor ocupación y más abiertas a los espacios verdes del exterior para tener acceso a la luz solar. Aprovechar la luz y la ventilación natural se estableció como premisa en diferentes regiones del planeta. En todas estas pandemias históricas, se pudo apreciar una relación con las pésimas condiciones higiénicas de las poblaciones y su escasa relación con el entorno exterior circundante. En varios casos de estas pandemias históricas, se realizaron cambios notables en la arquitectura.

La vitamina “D”, también conocida como la “Vitamina del Sol”, es un nutriente esencial que se obtiene por medio de la exposición moderada a la radiación solar y se absorbe principalmente a través de la piel, así como con la dieta de algunos productos alimenticios, principalmente de origen animal. Su principal función es favorecer la absorción de calcio y fósforo desde la dieta de las personas y de esta forma mantener una estructura ósea saludable y fortalecer y modular las respuestas del sistema inmune. La vitamina D, además de aumentar el sistema inmune, regula la producción de melatonina y también promueve la síntesis de serotonina, un neurotransmisor relacionado con el estado de ánimo y el bienestar.

Su presencia en el cuerpo humano se compone en un 80% mediante la síntesis celular que el cuerpo realiza a través de la exposición a los rayos del sol, mediante la radiación UV-B (290-320 nm) y el 20% corresponde a la ingesta de alimentos que contengan dicha vitamina (Aranow, C., 2011; Nair, R., 2012). Las personas que cuentan con niveles óptimos de vitamina D corren menos riesgo de contagiarse de algún virus, como el de COVID-19, mientras que aquellas personas que presentan niveles bajos de vitamina D son más propensos a contraerlo.

ESTRATEGIAS PARA CONTRIBUIR AL ACCESO A LA LUZ SOLAR, CONTROLADA Y SELECTIVA, PARA PROMOVER CONDICIONES SALUDABLES EN LAS PERSONAS

Efectos Visuales y No Visuales de la Luz Natural

La luz natural proveniente del sol está directamente relacionada con las condiciones de salud de los seres vivos. Establece una conexión directa con los ciclos circadianos naturales cotidianos de luz-oscuridad, proporciona ambientes de bienestar fisiológico y psicológico y regula las funciones corporales y, desde el punto de vista directo, permite ver el entorno interior y exterior donde las personas realizan sus diversas actividades.

Estudios recientes han identificado y confirmado la naturaleza de la luz en dos componentes esenciales: Los “Efectos Visuales” y los “Efectos No Visuales de la Luz Natural” (CIE, 2018; Schlangen et al, 2021). Por lo que respecta a los Efectos Visuales, los elementos que los

determinan son los Conos y los Bastones, que, como se mencionó anteriormente, son células fotorreceptoras que se encuentran en la retina del ojo humano, que se estimulan con la luz y envían las señales al córtex visual para percibir los objetos iluminados (Figura 1).

El ojo humano contiene aproximadamente 130 millones de bastones y 7 millones de conos. Además, existen otro tipo de células fotorreceptoras, conocidas como células ganglionares intrínsecamente fotosensibles (ipRGCs, por sus siglas en Inglés, "Intrinsically photosensitive retinal ganglion cells"), que son sensibles a la luz cian (a los 480 nanómetros). La función de estas células fotorreceptoras, que envían sus señales al núcleo supraquiasmático, regulan el sistema circadiano y, por lo tanto, están directamente relacionadas con los ciclos y ritmos circadianos, el reflejo pupilar y otras respuestas a la luz que no están estrictamente relacionadas con la formación y percepción de imágenes (efectos visuales); y estas señales operan el reloj biológico y el sistema neuroconductual e influyen de manera determinante en la fisiología y psicología de los seres vivos.

Sin embargo, las normas, reglamentos y prácticas en materia de iluminación se concentran generalmente en los aspectos visuales y de eficiencia energética de la luz y no abordan las respuestas a la luz no relacionadas con la imagen (efectos no visuales). Esto puede provocar condiciones de iluminación que comprometan y afecten el confort lumínico-visual en los diversos géneros de edificios, así como el funcionamiento, la productividad y, lo que es más importante, la salud de sus ocupantes.

Otros efectos de la presencia de la luz se relacionan con el aumento del ritmo cardíaco, optimización del estado de alerta, alivio de la depresión estacional y no estacional, e influencia en la termorregulación corporal, entre otros factores. Los efectos visuales y no-visuales y todas sus características se ilustran en la Figura 11.

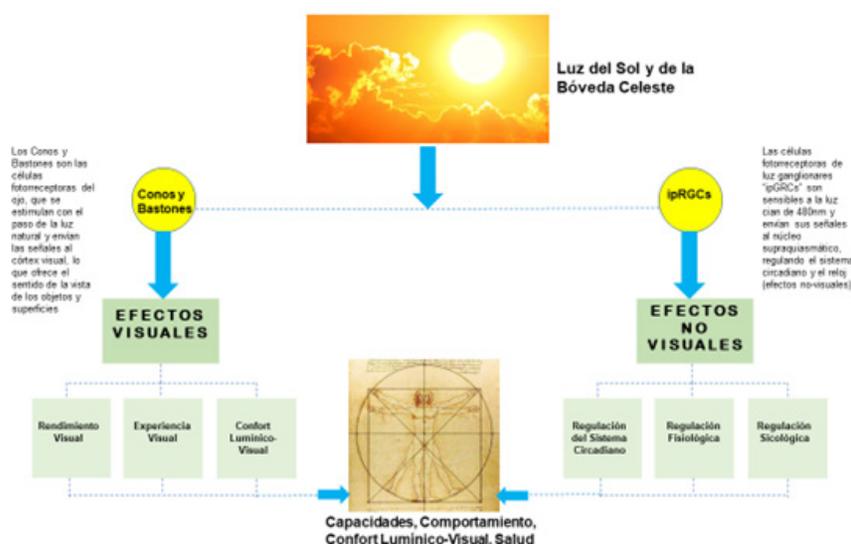


Figura 11. Efectos Visuales y No-Visuales de la Luz.

Elaboración propia, con base en el diagrama de Edificios y Salud. Página 186.

<https://gbce.es/documentos/Edificios-y-salud.pdf>

Estrategias para el Manejo Apropiado de la Luz Natural Orientadas a Contribuir a Proporcionar Condiciones de Salud en las Personas

En resumen, para contribuir a optimizar las condiciones de salud de las personas, es importante evitar la luz por la noche y exponerse moderadamente al sol durante el día, preferentemente durante la mañana. Ambas acciones son igualmente importantes para mejorar la producción de melatonina y el bienestar humano. La producción de melatonina durante el día con la exposición de las Radiaciones del Longitud de Onda Corta (NIR) contribuye a controlar y reducir el “Estrés Oxidativo” en las Mitocondrias, que son los orgánulos celulares que generan la mayor parte de la energía química necesaria para activar las reacciones bioquímicas de la célula y promover condiciones más saludables para las personas. Se ha demostrado que las mitocondrias producen durante el día, melatonina en muchas células a nivel subcelular, en cantidades mucho mayores que las que se producen en la glándula pineal durante la noche.

Esta melatonina subcelular no necesariamente fluctúa con nuestro ritmo circadiano ni se libera en el sistema circulatorio, y se ha planteado que su producción se realiza a nivel local, en respuesta a la densidad de radicales libres dentro de cada célula, en particular a la exposición al infrarrojo cercano (NIR) (Zimmerman, S. and Reiter, R.J. 2019). La radiación infrarroja cercana se refiere a la radiación electromagnética con longitudes de onda que van desde 750 a 2500 nm (Figura 5), que es invisible a simple vista.

CONCLUSIONES

La luz natural está directamente asociada con la arquitectura, es una simbiosis que se ha reflejado desde las primeras manifestaciones del hombre en el planeta. Incorporar luz natural al diseño y construcción de los edificios a través de diversos elementos como aberturas, lucernarios y atrios brinda numerosos beneficios, que incluyen mayor eficiencia energética, mejor salud y bienestar, mayor productividad, mejor estética, contribuye a la sostenibilidad y coadyuva mejor confort higrotérmico y lumínico-visual. Ciertamente, compartir la luz natural en la arquitectura es uno de los aspectos más importantes de la misma por su impacto en el bienestar de las personas, la preservación de la energía y el enriquecimiento emocional de los espacios entre otros.

De manera particular, la luz natural puede aumentar los niveles de serotonina (hormona que tiene la función de regular el humor, el sueño, el apetito, el ritmo cardíaco, la temperatura corporal, la sensibilidad y las funciones intelectuales), y que puede estabilizar el estado de ánimo y contribuir a la felicidad; así mismo, puede contribuir a reducir los síntomas de depresión y ansiedad. Así mismo, es importante reiterar que, históricamente, en las ciudades en diversas regiones del planeta donde la oscuridad y la falta de higiene provocaron diversas enfermedades, como la tuberculosis y el cólera, entre otras, que proliferaron cotidianamente y rápidamente, se llevaron a cabo diversas acciones para contrarrestar estas afectaciones con medidas correctivas aplicando la luz natural de manera efectiva y con resultados favorables en el corto plazo.

A partir de estas experiencias, se obtuvo un nuevo y mayor conocimiento científico de los beneficios antisépticos y de diversa índole de la luz natural, y se propuso como una medida urgente y necesaria para contrarrestar los efectos nocivos de las pandemias y enfermedades históricas.

En la actualidad, las severas afectaciones provocadas a nivel mundial por el SARSCoV-2 y la COVID-19, hacen más imperiosa la utilización de la luz natural en los diversos géneros de edificios para contribuir a mitigar las consecuencias globales. Ciertamente, una exposición moderada y controlada a la luz solar, sobre todo en los períodos matutinos, favorece el reforzamiento del sistema inmunológico y, también puede coadyuvar a la eliminación de virus y bacterias en las superficies y el aire ambiente. Por lo tanto, es necesario retomar las experiencias exitosas del pasado en la arquitectura, de vincular a la luz natural y el medio ambiente con los ocupantes de las edificaciones para coadyuvar a mitigar las severas afectaciones de enfermedades y pandemias, y contribuir a lograr condiciones de salud y bienestar.

Además, es deseable que estrategias y sistemas bioclimáticos se integren y apliquen en los nuevos proyectos, así como en los edificios existentes, para obtener condiciones de confort ambiental integral en los ocupantes e integrar tecnologías sostenibles con base en el aprovechamiento de las energías renovables y los recursos naturales, para contribuir a reducir la emisión de gases de efecto invernadero al medio ambiente y disminuir el Calentamiento Global y mitigar el Cambio Climático de nuestro entorno natural, y concientizar y motivar a las sociedades a poner en práctica acciones sostenibles efectivas para el mejoramiento del medio ambiente, de la calidad de vida y la salud de la presentes y futuras generaciones del planeta.

Referencias

- Heschong L, Wright. R, Okura, S. Daylighting Impacts on Human Performance in School. J. Hum. Eng. Soc. 2002; 31: 101–110.
- Eberhard, J. Applying Neuroscience to Architecture. Neuroview. Volume 62, Issue 6, pp 753-756, June 25, 2009.
- Aranow C. Vitamin D and the Immune System. Journal of Investigative Medicine & Volume 59, Number 6, August, 2011.
- Zimmerman, S. and Reiter, R.J. 2019. Melatonin and the Optics of the Human Body. *Melatonin Research*. 2, 1 (Feb. 2019) 138-160.<https://melatoninresearch.net/index.php/MR/article/view/19/208>.
- <https://www.blueconemonochromacy.org/es/how-the-eye-functions/>
- <https://royalsocietypublishing.org/toc/rstl/1672/6/80>
- <https://hispanopticas.com/las-radiaciones-ojo-i-los-tipos-radiacion/>
- <https://www.ucm.es/data/cont/docs/3-2014-12-17> .
- <https://www.britannica.com/topic/Hagia-Sophia>
- <https://melatonin-research.net/index.php/MR/article/view/19/208>
- <https://www.history.com/news/school-outside-tuberculosis>.
- <https://www.tvu.org/article/how-toronto-schools-adapted-to-a-health-crisis-a-century-ago-openair-learning>.
- <https://www.nytimes.com/2020/07/17/nyregion/coronavirus-nyc-schools-reopeningoutdoors.html>.
- <https://www.messynessychic.com/2016/03/15/classrooms-without-walls-a-forgotten-age-ofopen-air-schools/>.
- <https://www.finnishdesignshop.com/design-stories/architecture/alvar-aalto-and-the-colors-ofthe-paimio-sanatorium>.

Valoración de tierra aligerada como alternativa sustentable y su respuesta ante la humedad por capilaridad mediante ensayos en campo

Jaime Álvaro Pérez Torres¹

1 Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco
Correo: japt@azc.uam.mx

Resumen

Las técnicas de construcción en tierra poseen en contraparte a los materiales industrializados, características que le permiten ser soluciones de menor impacto ambiental, así como poseer baja conductividad térmica en sus sistemas constructivos, los cuales pueden funcionar como aislantes térmicos sustentables. No obstante, entre las características negativas, se encuentra el ser un material higroscópico, por lo tanto, es endeble a la humedad en cualquiera de sus formas.

A su vez, los sistemas de tierra aligerada resultan accesibles para el revestimiento de muros combinar con otros sistemas estructurales, siendo posible utilizar muros de tierra con bajos espesores en muros. En esta investigación se realizan pruebas adaptadas a herramientas de fácil acceso, como complemento a ensayos en campo para valorar las cualidades de susceptibilidad a la humedad de determinadas mezclas para el caso del barro aligerado, en ellas se obtienen curvas de capilaridad, con la finalidad de tener rangos que se puedan valorar a futuro para este u otras técnicas de tierra con formas sustentables de impermeabilización.

Palabras clave: tierra aligerada, curvas de capilaridad, cal hidratada, mucílago de nopal, sistema sustentable termoaislante.

Abstract

Earth construction techniques have in contrast to industrialized materials, characteristics that allow them to be solutions with lower environmental impact, as well as having low thermal conductivity in their construction systems, which can function as sustainable thermal insulators. However, among the negative characteristics is that it is a hygroscopic material, therefore, it is susceptible to humidity in any of its forms.

In turn, light earth systems are accessible for wall cladding to combine with other structural systems, being possible to use earth walls with low wall thicknesses. In this research, tests adapted to easily accessible tools are carried out, as a complement to field tests to assess the qualities of susceptibility to humidity of certain mixtures in the case of lightened mud, in which capillary curves are obtained, in order to have ranges that can be valued in the future for this or other earth techniques with sustainable forms of waterproofing.

Introducción

No obstante la investigación sobre procesos de mejoramiento de las técnicas en tierra cruda se ha incrementado en años recientes, la puesta en obra de dichos procedimientos constructivos difícilmente puede ser unificada, debido a que son diversos los recursos humanos y materiales con los cuales se puede contar en la práctica este tipo de construcciones. Motivo por el cual la caracterización de la materia prima que en este caso es el suelo, se realiza en campo, con instrumentos de bajo presupuesto y que son reconocidos como pruebas de campo.

Entre los ensayos que comúnmente se realizan, resalta la caracterización del suelo previo a las mezclas con agregados finales, como lo es mediante ensayos de sedimentación, granulometría, contracción lineal o de plasticidad mediante una cintilla (Nava y Pérez, 2017, p. 253). Por lo que es poco común verificar otro tipo de agentes como lo son la susceptibilidad ante causas endógenas y exógenas de las composiciones finales de las mezclas de tierra con sus agregados.

Se sabe que uno de los inconvenientes de la construcción con tierra cruda es su alta susceptibilidad ante la presencia de humedad, circunstancia que puede comprometer inclusive de manera estructural a este tipo de edificaciones. Así entre las patologías que inciden en deterioros subsecuentes se encuentra la humedad, misma que puede tener ganancias a través de circunstancias atmosféricas, precipitación pluvial, humedad relativa, pero también por ganancias a través de la superficie de desplante como lo es la ascendencia capilar e incluso por las actividades que se desarrollen al interior de las envolventes.

Es así que aun cuando existen múltiples pruebas de laboratorio para verificar las cualidades de ganancia por humedad en una muestra de suelo, estas pueden resultar elevadas económicamente y fuera del rango de recursos humanos disponibles, más si hablamos de construcciones destinadas a la vivienda popular de nuestra región geográfica.

En el presente documento se comparte la experiencia de adaptar pruebas de capilaridad en módulos que se pueden ensayar en campo con materiales accesibles, en específico para el análisis de un tipo de mezclas destinadas al sistema de tierra aligerada, mismo que al ser un sistema de revestimiento en muros donde resalta su baja densidad, se considera una técnica útil como sistema termoaislante sustentable en muros.

Tierra aligerada, aislamiento térmico y susceptibilidad a humedad

Es ante el embate climático actual donde este tipo de recubrimientos con procesos más sustentables pueden tener una mayor demanda como alternativa a los sistemas de climatización mecánica, como búsqueda de solucionar la inconformidad en la sensación térmica de construcciones ya existentes, las cuales actualmente son concebidas principalmente con materiales altamente industrializados.

Las técnicas constructivas en tierra cruda se consideran como sistemas capaces de revertir las situaciones de malestar térmico debido a los bajos índices de conductividad térmica que llegan a tener. Este tipo de construcciones se puede clasificar en base a la composición granulométrica de los componentes del material principal, en este caso el suelo, y cuya estructura parte de gravas, arenas, limos y arcillas (Figura 1).



Figura 1. Las técnicas en tierra cruda poseen la virtud de emplear materia local y sustentable.
Fuente: Fotografía del autor en taller de técnicas de tierra donde fue ponente.

De igual forma, el reconocimiento del material, así como la cantidad de agua añadida determinan el estado de nuestra mezcla (líquido, plástico, húmedo y seco). Por esta circunstancia, es importante señalar que no todos los suelos son aptos para todas las técnicas constructivas en tierra, ya que este mismo puede cambiar dependiendo de la toma de excavación, inclusive dentro de una misma localidad geográfica.

Así, es importante reconocer que una muestra de tierra predominantemente arenosa, nos servirá para sistemas que requieran poca cantidad de agua y cuyas mezclas serán utilizadas en estado húmedo o seco, como lo serán en tapial, bloque de tierra comprimida o el superadobe. Por otra parte, muestras que requieran una mayor demanda de recurso hídrico para su mezcla se encontrarán en los sistemas donde se utilizan mezclas en estado líquido o plástico.

La construcción en tierra aligerada se encuentra dentro de las técnicas que utilizan la tierra y propiamente la arcilla en estado líquido, entre sus características sobresale en no ser un sistema de carga estructural en sí mismo, es decir, se requiere una estructura externa y entre sus ventajas se encuentra la versatilidad de combinar un sistema de revestimiento de muros con una estructura de cualquier otro material. Para lograr dicho cuerpo o revestimiento, es necesario un entramado, mismo que preferentemente puede realizarse con algún material de procedencia vegetal, como lo es el carrizo.

Este tipo de muros a partir de entramados con recubrimiento de tierra más otro tipo de agregados se pueden encontrar alrededor del mundo como herencia edilicia patrimonial bajo diversos nombres, por ejemplo, en países de Europa Occidental podemos identificar

la técnica del colomage, o en América al bajareque o la quincha, como sistemas de tierra aligerada (Figura 2). Otra referencia de acuerdo a la Dirección de Arquitectura, Ministerio de Obras Públicas de Chile (2016) la encontraremos con la:

técnica aymara “Caruna o Takta” la cual es tierra y paja alivianada de 1 a 2 cm de espesor y dimensionada en franjas de 50 cm de ancho, las que se colocan sobre un entramado de caña traslapados levemente, con una superficie interior lisa. Su confección se realiza in situ, con paja fina y barro apisonado bajo una tela para comprimirlo (Alfaro et al., 2023, p.40)



Figura 2. Imagen que muestra la técnica de Bajareque en Campeche, México.
Fuente: Fotografía tomada por el autor.

De igual manera, Volhard (2016, p. 56) señala que a la par de fibras que recomendablemente debe ser paja de trigo, también se pueden realizar sistemas de tierra aligerada, añadiendo a la barbotina líquida residuos de madera (aserrín) e incluso compuestos minerales como la piedra pómez. Siendo en todos los casos, el agregado un material de bajo índice de densidad, razón por la cual, una de las características principales de este tipo de sistemas constructivos es su baja conductividad térmica, por consiguiente, su utilidad como material aislante térmico en edificaciones emplazadas en distintas latitudes geográficas.

Chantaca (2021, p.25) refiere a partir de Minke (2006) dos técnicas de entramado y tierra de Europa central, como lo son el Wickelstaken y el Lehmflaschen o botellas de barro, ambas técnicas se caracterizan por ser elementos donde el entramado puede sumergirse en el barro y mediante el movimiento giratorio puede realizarse a manera de prefabricado, sobresaliendo que se eliminan muchas de las fisuraciones por retracción.

Asimismo, se considera que los sistemas aligerados en barro resultan buenos sistemas termoaislantes, debido a que poseen una baja densidad, Holzhueter e Itonaga (2017, p.212) mencionan que para valores obtenidos en laboratorio con muestras de barro aligerado con paja, se obtuvieron una media de densidad de 356.27 (kg/m³), así como una conductividad térmica media de 0.072 (W/mK). Esta característica puede ser variable, ya que la manufactura del barro liviano depende de múltiples factores, como lo son: mano de obra, equipos implementados, fibras utilizadas e incluso la composición mineralógica del suelo.

En una investigación donde se realizó la prueba con paneles aligerados de tierra local y fibras, más la adición cal hidratada en su composición, se observó una mejor respuesta térmica cercana rangos de confort en módulos de mampostería con dimensiones 0.80x0.60x1.00m., que contaban con estos paneles de revestimiento que su contraparte, otros dos módulos de mismas dimensiones, los cuales uno fue revestido de placas de poliestireno extruido, mientras que el otro no tuvo ningún recubrimiento (Pérez, 2021, p.155).

De esta manera, las técnicas constructivas en tierra cruda son alternativa a los productos termoaislantes comerciales contemporáneos que en muchos casos llevan un proceso de transformación mediante procesos químicos altamente tóxicos. Situación que más allá de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero que se pueden desprender producto de este tipo de procesos, conllevan a riesgos sanitarios debido al contacto que estos pueden tener durante los periodos de transformación, puesta en obra, uso y deshecho en los suelos.

No obstante, una de las causas principales por las que se ha llevado al abandono de las técnicas tradicionales no solo en nuestro territorio, sino en diversas latitudes, es la poca resistencia que este tipo de sistemas tienen ante inclemencias ambientales, principalmente la humedad, sumado a la complejidad en la elaboración de estructuras de este tipo, puesto que demandan mayor cantidad de tiempo y mano de obra para su realización, que su contraparte, los sistemas industrializados.

Henneberg (2008, p.2) señala que los daños en construcciones de tierra pueden ser: intrínsecas (ganancia de humedad por condiciones inherentes al material) y extínsecas (por causas de origen antropogénico). Siendo la ascendencia capilar por presencia de agua en mantos freáticos del suelo una de las condiciones clasificadas como intrínsecas. En contacto de humedad por capilaridad con los muros con tierra Gómez et al. (2016, p.2) señalan que:

...es posible que el agua existente provoque la migración de sales solubles hacia la superficie del muro y forme los depósitos salinos conocidos como eflorescencias. El riesgo de aparición de estas alteraciones se ve aumentado notablemente tras el aporte de materiales cementosos en eventuales labores de reparación. En ocasiones, las sales arrastradas por el agua se depositan en una zona superficial en el interior de la masa del muro, formando criptoeflorescencias.

Considerando que los sistemas de tierra aligerada utilizan principalmente fibras de origen vegetal, los sistemas de entramado y aligeramiento en muros son altamente susceptibles a la ganancia de humedad, quedando de manifiesto no solamente las problemáticas aquí referenciadas, sino también, al ganar una mayor cantidad de peso y no ser un sistema con

capacidad de carga, la ganancia de peso por humedad en cualquiera de sus formas predispone al sistema a la rotura y posible colapso estructural.

Elaboración de probetas

Al referenciar que los procesos de homogeneización en la producción de elementos constructivos en tierra cruda son una de las mayores dificultades para garantizar procesos de calidad, puesto que la materia prima puede ser variable de una localidad a otra, es entonces que:

Para seleccionar el suelo más adecuado, entre los que están disponibles en el sitio de construcción, es necesario obtener muestras representativas de estos suelos y en cantidades suficientes como para realizar todas las pruebas y ensayos. Para componer una muestra de suelo deben ser recogidas porciones en diversos puntos del terreno. Luego, las partes recogidas deben ser mezcladas, homogeneizadas y cuarteadas para obtener la muestra en estudio. El cuarteamiento consiste en formar un montón con la muestra inicial, dividir este montón en cuatro partes iguales, agregar dos partes opuestas y descartar las otras dos. Si la muestra inicial es grande, el procedimiento puede repetirse otras veces más, hasta obtener la porción adecuada en los exámenes y ensayos de selección (Borges, 2011, p. 14).

Dicho procedimiento se realiza con la finalidad de homogeneizar el suelo y con ello obtener un menor grado de incertidumbre en las relaciones granulométricas de las muestras llevadas a laboratorio o a obra. En tales ensayos de las muestras es importante definir el porcentaje de arcillas en la composición del suelo, dicho componente tiene la función aglutinante entre las partículas del suelo y por consiguiente, para sistemas constructivos en tierra posee la particularidad de enlazar las partículas de los diversos agregados, como es el caso de fibras vegetales u otros componentes.

Al considerar que:

...no todas las arcillas tienen comportamientos similares pues, en función de la dimensión de la separación de sus micelas y de la serie de elementos químicos que las conforman, cambia su grado de actividad. Esto hace posible clasificar los tipos de arcillas a partir de rangos que van desde las que tienen un comportamiento muy inestable, con lo que su adherencia y mutabilidad de volumen al hidratarse puede ser muy fuerte, hasta el límite opuesto, formado por aquellas que resultan casi inertes y, por lo tanto, mucho más estables en contacto con el agua. (Guerrero, 2007, p. 186).

Se debe señalar que una muestra de suelo para construcción que es carente en materia arcillosa, puede estabilizarse en campo con fines de obtener una mejor respuesta para el sistema constructivo a implementar. Tal estabilización es posible a partir de compuestos naturales, químicos o minerales que permitan una mejor adherencia entre las partículas de la muestra, siendo los compuestos de origen natural los que cumplen con una degradación más óptima con el suelo, ya que sumado a una composición orgánica de posibles fibras añadidas, puede integrarse con los suelos donde se deposite después de su uso sin llegar a alterar la estabilidad de los sistemas bióticos.

No obstante, la estabilización se utiliza preferentemente para sistemas que utilizan la tierra en forma plástica o seca, la presente investigación propone añadir una porción de otro elemento que pueda permitir otro tipo de caracterización a la mezcla líquida de la arcilla y con ello, valorar los resultados que se puedan obtener para la toma de peso de las muestras en curvas de capilaridad. Para ello la referencia son los estabilizantes utilizados por la tradición constructiva en tierra cruda de nuestro país, en este caso un polisacárido (mucílago de nopal) y un cementante (cal).

La ventaja de utilizar estabilizantes polisacáridos, radica en que son obtenidos de fuentes naturales, por lo que son de fácil degradación química con el suelo toda vez que culmina su periodo de utilidad. Igualmente resalta que, al contacto con el agua en la elaboración de mezclas para morteros o construcción, forman geles que pueden mejorar la consistencia de la mezcla (Visac et. al., 2017, p.14). De igual manera, otro agregado que puede permitir la estabilización de los sistemas constructivos en tierra y que inclusive puede mejorar su resistencia a los factores de humedad es la cal (Chanfón, 1997, p.272). Por lo tanto, el agregado de este material puede mejorar la resistencia a la presencia de humedad.

Una vez definidos los agregados a utilizar, para obtención de la arcilla se recurrió a la excavación en campo de una muestra de suelo en el municipio de Atzizintla, Puebla, en donde se procedió manualmente y con herramientas como pala y pico, para la obtención de la muestra a 0.50 metros de profundidad, toda vez que no se encontraron vestigios de capa vegetal. Para el análisis y composición granulométrica de las muestras se procedió al cuarteamiento, posterior tamizado por una malla de 10.00mm. de abertura, para sus posteriores pruebas de sedimentación.

Al no existir una normatividad específica en nuestro país que refiera la producción y puesta en obra de sistemas constructivos en tierra cruda, se optó por realización de este tipo de ensayos. Para conocer la composición granulométrica de la muestra se procedió a llenar hasta la mitad una botella de vidrio de 300ml. con la muestra de suelo tamizado de gravas, y vertiendo agua hasta llenar la botella. Después se agita por un lapso de 30 segundos y se deja reposar, este procedimiento se realizó en 10 ocasiones para que mediante la comparación de muestras se obtuviera un rango medio de la composición granulométrica.

Los resultados arrojan que existe una tendencia elevada hacia las proporciones de granulometría arenosa, no obstante, existe una porción entre el 5 y el 10% de arcillas en las muestras, por lo que se considera un suelo del cual se puede separar la composición de ese agregado para poder elaborar las probetas necesarias para la investigación presente (Tabla 1).

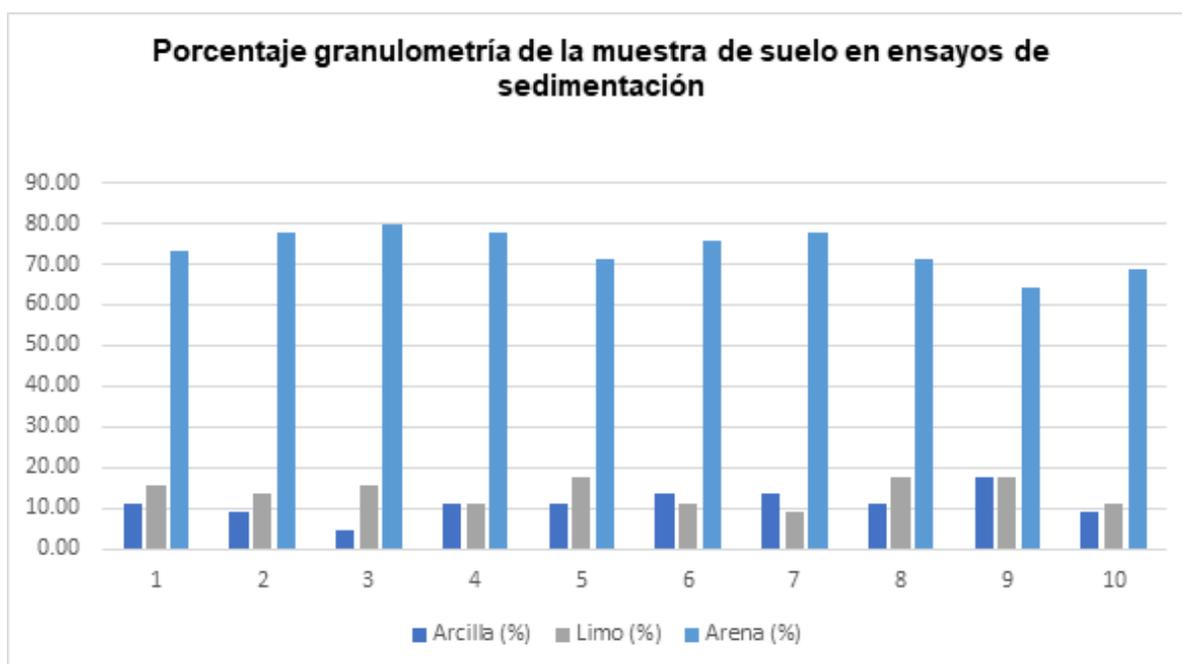


Tabla 1. Tras los ensayos de sedimentación del suelo se obtiene un porcentaje dominante de arenas.
Fuente: elaboración propia.

Referente a la obtención de arcilla pura para la elaboración de barbotina, esta se hizo mediante la mezcla en agua de la muestra del suelo, para obtenerla por decantación, una vez que la muestra había sido cernida con una malla de 10.00 mm de apertura para retirar su composición en gravas.

Posterior a ello se realizó la mezcla con agua en un recipiente de 20 litros por proporción suelo-agua 1:1, para finalmente, obtener la arcilla por decantación de las partículas de la muestra. Cabe mencionar que para el proceso de esta investigación, no se define la composición arcillosa de la muestra, es decir su presencia de caolinitas, illitas, monmorillonitas.

Una vez aislada la arcilla, se menciona que se realizaron 3 muestras de con mezcla de arcilla, la primera con relación arcilla -agua (1:5), la segunda en donde se añadió una proporción de un material natural aglutinante, que es el caso del mucílago de nopal, por lo que la proporción final fue arcilla-mucílago de nopal (1:5), y la tercera con una proporción de arcilla-lechada de cal (1:5), la definición de tales características se hizo buscando una comparación igual entre proporciones.

Adaptación de pruebas para medir rangos de capilaridad

En cuanto a las pruebas de absorción capilar, existen referencias en cuanto a procedimientos enfocados a concretos o materiales con otras características, ellos consisten en medir el peso inicial de probetas, previa exposición al secado de las muestras, para posteriormente compararlas con el peso después de sumergirlas en agua.

En México, la NMX-C-504-ONNCCE-2015, Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y edificación, S.C. (2015), refiere pruebas de absorción capilar para concreto hidráulico, en donde las probetas se sumergen agua hasta una altura de 3mm. Previo secado en horno hasta los 50 °C y “se procede a la toma de peso a los tiempos de 1/12, 1/6, 1/4, 1/2, 1, 2, 3, 4, 6, 24, 48 ... horas” (Mejía et al. ,2018, p.18). Asimismo, la Norma Técnica Guatemalteca NTG 41017 h23, señala metodologías de ensayo para la velocidad de absorción capilar en concretos, señalando la importancia del secado de las probetas muestra en una cámara ambiental con humedad relativa y temperaturas específicas (Comisión Nacional de Normas Ministerio de Economía, 2013, p.9).

El procedimiento de medición que se propone, aunque no asimila el total del procedimiento, trata de basarse en estas normativas modificando algunos procesos con la finalidad de que sean más sencillos de realizar en obra, por ello aunque dichas referencias sugieren tomar medidas de peso, incluso a las 24 y 48 horas del primer contacto con el agua para su posterior evaluación, al tratarse de materiales con alto valor higroscópico, se busca acotar la referencia de tiempo por lo que se propone un límite de 180 minutos.

De igual manera, se propone la elaboración de 3 probetas cúbicas de 10.00x10.00x10.00 cm. por cada tipo de mezcla, mismas que superan el tamaño de las referencias citadas (Figura 3). Por lo que respecta a la composición de las probetas, 3 corresponden a arcilla-agua (1:5), 3 a arcilla -mucílago de nopal (1:5) y 3 arcilla-lechada de cal (1:5). Una vez obtenidas las probetas, se dejan en exposición al sol por un lapso de 15 días naturales, para obtener un secado uniforme que sustituya el secado en cámara ambiental a 50 °C.



Figura 3. Elaboración de probetas de 10x10x10 cm. para la presente investigación.
Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Posterior al proceso de elaboración de las probetas, se procedió a tapar 5 de las 6 caras de cada una de las probetas con cinta adhesiva para evitar ganancias de humedad atmosférica en medida de lo posible, dejando una cara libre, la cual se dejaría en exposición directa con el agua. Posterior a ello, se vertió agua a una altura de 0.3 cm. en una bandeja de dimensiones 28.00x18.00x08.00 cm. La altura del agua sería la altura a la cual se colocaría cada una de las probetas para tomar los rangos de absorción por capilaridad, en este caso se propone a tomar medidas de peso a los 3, 5, 8, 11, 15, 20, 30, 60, 120, 180 minutos, previa toma de peso de las probetas en seco (Figura 4).



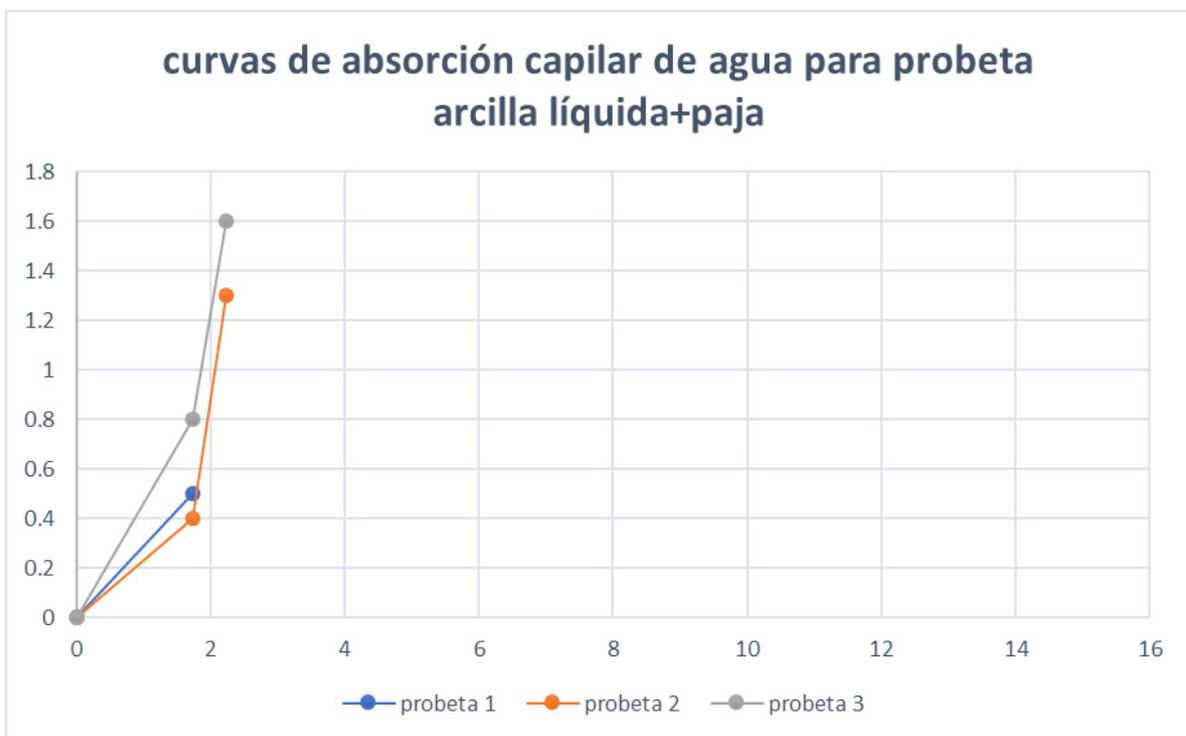
Figura 4. Proceso en el cual se sumerge una probeta en un molde con agua.
Fuente: Fotografía tomada por el autor.

Resultados y discusión

Tras la realización de los tres grupos de probetas, se observó una acentuada ganancia de humedad por capilaridad en los nueve casos que se experimentaron, resalta la presencia de la paja de trigo, cuya composición orgánica acelera la susceptibilidad misma de las muestras al agua. Se muestra una tendencia generalizada que en ninguna de las nueve probetas se llegó a la toma del peso a los 180 minutos después de transcurrido el primer contacto con la humedad, ya que en todos los casos hubo una rotura total de la probeta antes del tiempo máximo establecido (Figura 4). A consecuencia del desprendimiento de total de las muestras, no se contabilizan los valores subsecuentes a la toma de peso en las probetas realizadas.

Así, para las tres primeras probetas que se experimentaron, las cuales contenían arcilla más agua y paja, así como un peso inicial de $\pm 200\text{g}$. densidad de $\pm 200\text{ kg/m}^3$ para los tres casos, se observó un desprendimiento total del bloque de tierra aligerada a los 5 minutos para dos casos y el otro a los 3 minutos del contacto con el agua, siendo así el tiempo de rotura media (T_{med})= 4.33 minutos, para un peso máximo promedio (W_{max})= $\pm 313.33\text{g}$, lo que equivale a una diferencia en el peso máximo promedio (Dw)= ± 113.33 .

En la gráfica que representa la comparativa entre las tres muestras se observa una ganancia inmediata de humedad, misma que se relaciona con el rápido cambio de peso. Para el caso de todas las muestras no se establece una ganancia uniforme de humedad, sucediendo antes de todo ello la rotura de las probetas (Tabla 2).



| PROBETA 1 | | | | |
|---------------------------|--|------------------|------------------------|-----------------------------|
| Tiempo transcurrido (min) | $\sqrt{\text{tiempo}}$ (min $^{1/2}$) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | Dif. peso/área (g/cm 2) |
| 0 | 0 | 200 | 0 | 0 |
| 3 | 1.73 | 250 | 50 | 0.5 |
| 5 | 2.23 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 2.82 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 3.31 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 3.87 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 4.47 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 5.47 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 7.74 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 10.95 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 13.41 | 0 | 0 | 0 |

| PROBETA 2 | | | | |
|---------------------------|--|------------------|------------------------|-----------------------------|
| Tiempo transcurrido (min) | $\sqrt{\text{tiempo}}$ (min $^{1/2}$) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | Dif. peso/área (g/cm 2) |
| 0 | 0 | 200 | 0 | 0 |
| 3 | 1.73 | 240 | 40 | 0.4 |
| 5 | 2.23 | 330 | 130 | 1.3 |
| 8 | 2.82 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 3.31 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 3.87 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 4.47 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 5.47 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 7.74 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 10.95 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 13.41 | 0 | 0 | 0 |

Valoración de tierra aligerada como alternativa sustentable y su respuesta ante la humedad por capilaridad mediante ensayos en campo

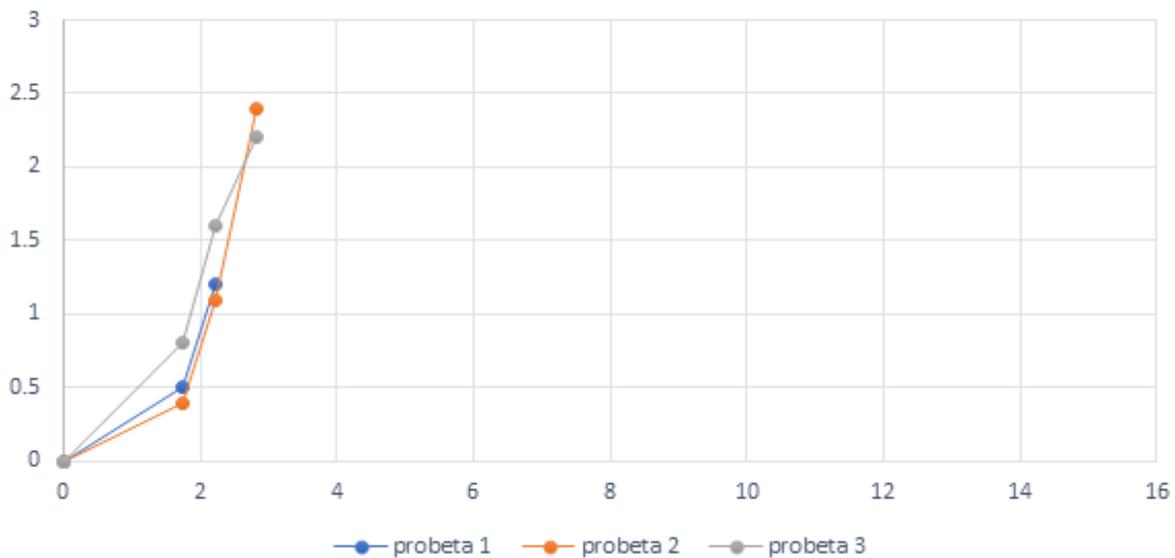
| PROBETA 3 | | | | |
|---------------------------|--|------------------|------------------------|-------------------------------------|
| Tiempo transcurrido (min) | $\sqrt{\text{tiempo}}$ (min ^{1/2}) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | Dif. peso/área (g/cm ²) |
| 0 | 0 | 200 | 0 | 0 |
| 3 | 1.73 | 280 | 80 | 0.8 |
| 5 | 2.23 | 360 | 160 | 1.6 |
| 8 | 2.82 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 3.31 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 3.87 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 4.47 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 5.47 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 7.74 | 0 | 0 | 0 |
| 120 | 10.95 | 0 | 0 | 0 |
| 180 | 13.41 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 2. Curvas de absorción capilar para 3 probetas con arcilla líquida y paja. Fuente: elaboración propia.

En referencia al grupo de las segundas probetas, se utilizó mucílago de nopal como agregado a la arcilla pura para su elaboración, obteniendo un peso inicial promedio de $\pm 200\text{g}$, densidad de $\pm 200\text{ kg/m}^3$. Para este caso se obtuvo un peso máximo promedio entre las tres probetas antes de la rotura equivalente a $(W_{\text{max}}) = \pm 393.33\text{g}$, lo que es una diferencia de peso promedio $(Dw) = \pm 193.33\text{ g}$. En lo referente a la media de tiempo de rotura evaluando los tres casos, se puede considerar a los $(T_{\text{med}}) = 7.0$ minutos.

Por lo que se muestra una ligera mejoría en cuanto a la resistencia a la humedad al integrar este elemento como componente de la mezcla. (Tabla 3). Cabe mencionar que para probeta 3, existió una ganancia rápida de agua por capilaridad en comparación con las probetas anteriores, se observa en dos de los casos hasta el momento de su desprendimiento por la mitad de las muestras, no obstante, tuvo un tiempo de desprendimiento mayor que la primera muestra.

curvas de absorción capilar de agua para probeta arcilla líquida con mucílago de nopal+paja



| PROBETA 1 | | | | | PROBETA 2 | | | | |
|---------------------------|--------------|------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------|------------------|------------------------|----------------------------------|
| Tiempo transcurrido (min) | tiempo (min) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | DW promedio (g/cm ²) | Tiempo transcurrido (min) | tiempo (min) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | DW promedio (g/cm ²) |
| 0 | 0 | 200 | 0 | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 0 |
| 5 | 1.23 | 200 | 50 | 0.8 | 5 | 1.52 | 240 | 40 | 0.4 |
| 10 | 2.23 | 200 | 100 | 1.2 | 10 | 2.23 | 280 | 80 | 1.1 |
| 15 | 3.02 | 0 | 0 | 0 | 15 | 3.02 | 320 | 120 | 2.4 |
| 20 | 3.71 | 0 | 0 | 0 | 20 | 3.71 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 3.87 | 0 | 0 | 0 | 25 | 3.87 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 4.47 | 0 | 0 | 0 | 30 | 4.47 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 4.47 | 0 | 0 | 0 | 35 | 4.47 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 7.04 | 0 | 0 | 0 | 40 | 7.04 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 8.99 | 0 | 0 | 0 | 45 | 8.99 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 10.41 | 0 | 0 | 0 | 50 | 10.41 | 0 | 0 | 0 |

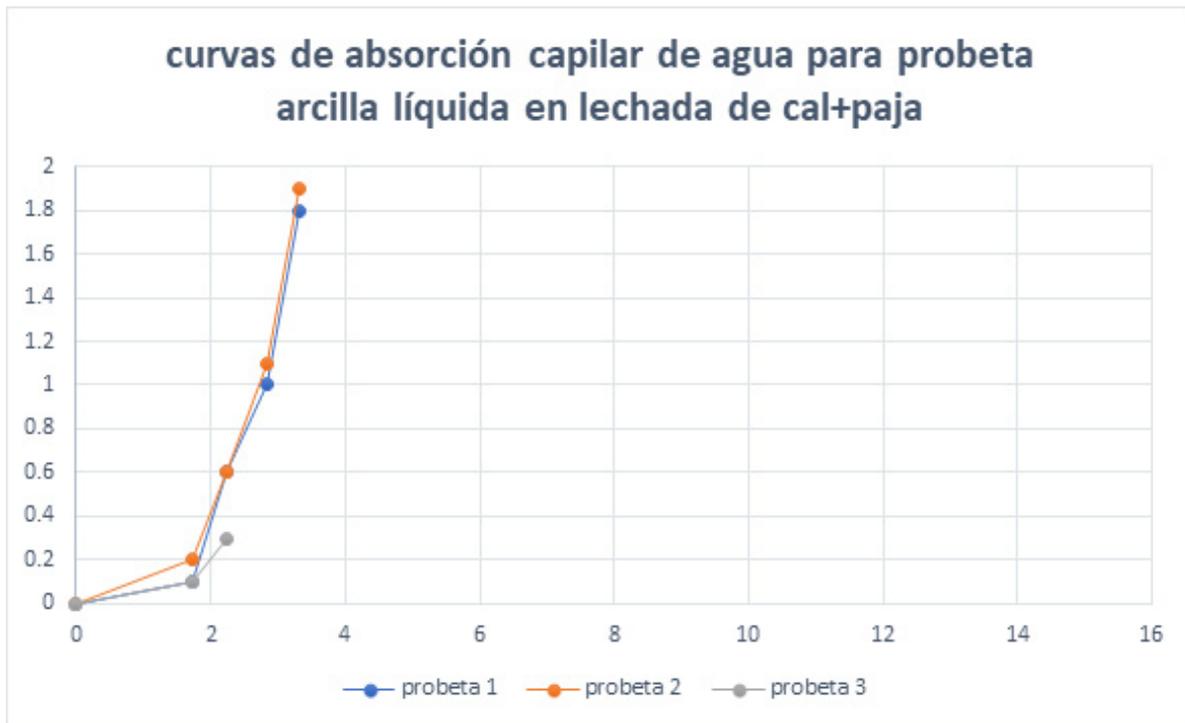
| PROBETA 3 | | | | |
|---------------------------|--------------|------------------|------------------------|----------------------------------|
| Tiempo transcurrido (min) | tiempo (min) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | DW promedio (g/cm ²) |
| 0 | 0 | 200 | 0 | 0 |
| 5 | 1.23 | 200 | 0 | 0.8 |
| 10 | 2.23 | 200 | 100 | 0.8 |
| 15 | 3.02 | 400 | 200 | 2.2 |
| 20 | 3.71 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | 3.87 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 4.47 | 0 | 0 | 0 |
| 35 | 4.47 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 7.04 | 0 | 0 | 0 |
| 45 | 8.99 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 10.41 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 3. Curvas de absorción capilar para 3 probetas con arcilla con mucílago de nopal y paja. Fuente: elaboración propia.

Para el tercer grupo de probetas de experimentación, que utiliza una lechada de cal como agregado líquido que complementa a la arcilla, obteniendo un peso inicial promedio de $\pm 210\text{g}$. y densidad de $\pm 210\text{ kg/m}^3$. En ellas se observa una mayor resistencia ante el agente de humedad, no obstante, se obtuvo un peso máximo promedio entre las tres probetas antes de la rotura equivalente a $(W_{\text{max}}) = \pm 343.33\text{g}$, lo que es una diferencia de peso promedio $(Dw) = \pm 133.33\text{ g}$. En lo referente a la media de tiempo de rotura evaluando los tres casos, se puede considerar a los $(T_{\text{med}}) = 9.0$ minutos.

De igual manera se muestra una menor ganancia de agua en el peso de las tres muestras al inicio de la experimentación, siendo entre los minutos 8 y 11 cuando existe una ganancia acelerada de humedad por capilaridad, por lo que se ve reflejada una tendencia de estabilidad hacia la media hora de exposición al agua (Tabla 4).

Valoración de tierra aligerada como alternativa sustentable y su respuesta ante la humedad por capilaridad mediante ensayos en campo



| PROBETA 1 | | | | | PROBETA 2 | | | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|------------------------|--------------|---------------------------|-------------------|------------------|------------------------|--------------|
| Tiempo transcurrido (min) | h tiempo (metros) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | CM absorción | Tiempo transcurrido (min) | h tiempo (metros) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | CM absorción |
| 0 | 0 | 330 | 0 | 0 | 0 | 0 | 350 | 0 | 0 |
| 3 | 1.73 | 330 | 10 | 0.1 | 3 | 1.73 | 350 | 20 | 0.7 |
| 6 | 2.29 | 350 | 20 | 0.1 | 6 | 2.29 | 350 | 30 | 0.8 |
| 9 | 2.92 | 350 | 30 | 1 | 9 | 2.92 | 350 | 40 | 1.1 |
| 11 | 3.27 | 400 | 50 | 1.1 | 11 | 3.27 | 400 | 50 | 1.5 |
| 14 | 3.87 | 0 | 0 | 0 | 14 | 3.87 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 4.97 | 0 | 0 | 0 | 20 | 4.97 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 6.07 | 0 | 0 | 0 | 30 | 6.07 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 7.16 | 0 | 0 | 0 | 40 | 7.16 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 8.26 | 0 | 0 | 0 | 50 | 8.26 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 9.36 | 0 | 0 | 0 | 60 | 9.36 | 0 | 0 | 0 |

| PROBETA 3 | | | | |
|---------------------------|-------------------|------------------|------------------------|--------------|
| Tiempo transcurrido (min) | h tiempo (metros) | Peso muestra (g) | Diferencia de peso (g) | CM absorción |
| 0 | 0 | 300 | 0 | 0 |
| 3 | 1.13 | 300 | 10 | 0.7 |
| 6 | 2.23 | 300 | 20 | 0.3 |
| 9 | 2.83 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 3.14 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | 3.87 | 0 | 0 | 0 |
| 20 | 4.97 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 6.07 | 0 | 0 | 0 |
| 40 | 7.16 | 0 | 0 | 0 |
| 50 | 8.26 | 0 | 0 | 0 |
| 60 | 9.36 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 4. Curvas de absorción capilar para 3 probetas con arcilla con lechada de cal y paja. Fuente: elaboración propia.

Por consiguiente, para los tres casos, no se logró obtener una resistencia al agua adecuada que pueda cumplir con el tiempo total de 180 horas de humedad y por lo tanto, tampoco se puede obtener una curva de secado (Figura 5). En comparación con las curvas de capilaridad o de secado de otros materiales, se puede definir que las mezclas propuestas son poco resistentes a condiciones donde exista presencia de humedad, no obstante, el añadir una lechada de cal a la mezcla de arcilla mostró una ligera mejoría en cuanto a la ascendencia capilar de las probetas, muestra de ello es que en los primeros minutos de exposición la velocidad de ganancia de agua se reduce en comparativa con los otros dos grupos de muestras.



Figura 5. Desprendimiento de una probeta posterior a sumergirla con agua.
Fuente: Fotografía tomada por el autor.

De igual manera, aunque las muestras realizadas con lechada de cal como agregado líquido en el cual se disolvió la arcilla mostraron una mejor resistencia a las ganancias de humedad por capilaridad, la contraparte es que tienden a una mayor densidad, la cual a gran volumen equivaldría a un mayor índice de conductividad térmica, mismo que no se verificó en esta investigación. Y es a la par de ello, que para las 9 probetas se registró una densidad menor a los 350 (kg/m³), valor que se acerca a la densidad media de este tipo de sistema constructivo, lo que puede significar una mala adherencia de todos los agregados desde la manufactura de las muestras, lo que pudo haber repercutido en los resultados finales, principalmente en la rotura.

El no determinar el secado final a 50 °C, así como la verificación de una humedad relativa apropiada, no permite conocer si las probetas finales mostraban una ganancia previa de humedad que acelerara el proceso de rotura en todos los ensayos.

Tal circunstancia pone de manifiesto la debilidad del sistema sin un recubrimiento ante humedades por capilaridad, lluvia e incluso aumento en la humedad relativa. Sin embargo, los resultados aquí obtenidos tendrían que compararse ampliando procedimientos de las normativas señaladas e inclusive valorar datos de laboratorio con ensayos realizados en campo para tener un margen de error más riguroso. Aún bajo estas consideraciones, la investigación en Arquitectura de tierra busca el perfeccionamiento de las técnicas constructivas, ya que el aprovechamiento de recursos naturales con una inclinación sustentable es uno de los valores agregados que tiene este tipo de conocimientos edificatorios.

Conclusiones

Uno de los aspectos negativos que pueden tener las construcciones en tierra cruda es la poca resistencia ante la presencia de humedad sea por lluvia, condensación o ascendencia capilar. En las muestras experimentadas en la presente investigación, dichos aspectos negativos quedan expuestos más cuando el procedimiento de realización no se apegó a pruebas con instrumentación en laboratorio.

Aún bajo estas circunstancias, la metodología de análisis para las probetas de tierra aligerada ante la presencia de humedad puede ser útil para determinar ensayos de caracterización en sitio para valoraciones futuras. No obstante los rangos obtenidos difieran de una calibración cuantitativa y cualitativa, la secuencia experimental aquí implementada puede ser útil para la verificación de mezclas en obra, no solo para la técnica aquí implementada, sino también para otras como el adobe, tapial, BTC, etc.

De igual manera, se observó una nula resistencia ante la humedad de las mezclas propuestas para un sistema de tierra aligerada que pueda servir como recubrimiento en muros de entramados, ya que a la par de ello, un constante mantenimiento en los mismos equivale a una mayor carga económica. Tal condición, puede delimitar su uso como material opcional a los sistemas de aislamiento industrializados, los cuales representan una mayor durabilidad al tiempo, así como resistencia ante agentes como la presencia de agua.

Igualmente, resalta que hubo una ligera mejoría en las probetas que utilizaron la lechada de cal agregada al contenido de arcilla, sin embargo, esta condición incremento el peso volumétrico de las muestras, lo cual en medida de incrementar sus proporciones puede derivar en una condición negativa en la búsqueda de un sistema “aligerado” en muros.

No obstante, se debe señalar que las probetas experimentales no poseían algún elemento extra que les protegiera del agente al cual fueron expuestos, así como que no hubo un procedimiento que dimensionara la presión ejercida en las probetas para con ello obtener menos rangos de variabilidad en el peso. Bajo estas consideraciones, futuras investigaciones pueden proponer el análisis de este sistema u otros en tierra cruda, obteniendo una homogeneidad en el peso, así como también, la implementación de alguna barrera que pueda retrasar la ganancia de humedad e inclusive la comparativa entre impermeabilizaciones químicas con naturales como puede ser el jabón-alumbre o algún otro similar.

Bibliografía

- Alfaro-Malatesta, S., Palme, M., y Cohen-Herera, J. (2023). Relevamiento del uso del “Cielo de barro y paja alivianado” como práctica cultural en la techumbre vernacular de la vivienda aymara de Arica y Parinacota, Chile. *Revista Hábitat Sustentable*, 13(2), 36-49. <https://doi.org/10.22320/07190700.2023.13.02.03>
- Borges, O. (2011) Identificación y selección de suelos. Técnicas de construcción con tierra. Red Iberoamericana Pro-Terra. Traducción Célia Neves. Recuperado de https://reproterra.org/wp-content/uploads/2020/05/4a_PP-Tecnicas-de-construccion-con-tierra_2011.pdf
- Chanfón, C. (Coord). (1997). Historia de la arquitectura y el urbanismo mexicanos España: Fondo de Cultura Económica.
- Chantaca, E. (2021). Mejoramiento integral del sistema constructivo de adobe de viviendas rurales afectadas por los sismos de 2017 en Ecatingo, Estado de México. Tesis que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura. En el campo de conocimiento de Tecnologías. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Recuperado: <https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000810381/3/0810381.pdf>
- Comisión Nacional de Normas Ministerio de Economía (2013). Método de ensayo. Determinación de la velocidad de absorción de los concretos de cemento hidráulico (NTG 41017 h23)
- Minke, G. (1994). Manual de construcción en tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual. Uruguay: Editorial Fin de Siglo.
- Gómez, F. Mileto, C., Vegas, F., y García, L. (2016). Procesos patológicos en muros de adobe: panorama general de los mecanismos de degradación del adobe en la arquitectura tradicional española”. En: *Arquitectura en tierra. Historia y Renovación. XIII CIATTI. Congreso de arquitectura en tierra en Cuenca y Villagarcía de Campos 2016*. [online]. Valladolid: Cátedra Juan de Villanueva. Universidad de Valladolid. 2016. Pp. 169-180. Recuperado://www5.uva.es/grupotierra/publicaciones/digital/libro2017/15XIII CIATTI2016_Gomez.pdf
- Guerrero, L. (2007). *Arquitectura en tierra: Hacia la recuperación de una cultura constructiva*. Apuntes: *Revista de Estudios sobre Patrimonio Cultural - Journal of Cultural Heritage Studies*, 20(2), 182-201. Retrieved August 22, 2024, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1657-97632007000200002&lng=en&tlng=es
- Holzhueter, K. & Itonaga, K. (2017). The Potential for Light Straw Clay Construction in Japan: An Examination of the Building Method and Thermal Performance. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 16. 209-213. 10.3130/jaabe.16.209.
- Henneberg, Andrea. (2008). TC-16 LESIONES QUE SUFREN LOS MUROS DE BAHAREQUE PROPUESTAS PARA SU REPARACION. Semana Internacional de Investigación Facultad de Arquitectura y Urbanismo • Universidad Central de Venezuela Recuperado de: <https://trienal.fau.ucv.ve/2008/documentos/tc/TC-16.pdf>

- Mejía, M., Torres, A., Del Valle, A., Vázquez, V., Trueba, C., Martínez, M., y Lomelí, M. (2018) Caracterización física y mecánica por desempeño de morteros de reparación, para su uso en la infraestructura del transporte de la SCT. Instituto Mexicano del Transportes. Secretaria de Comunicaciones y Transporte. México. Recuperado de: <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt513.pdf>
- Nava, I. y Pérez, J.(2017). Ensayos de campo para la caracterización de la tierra como material de construcción. Arquitectura en tierra, tecnología sostenible y reutilización patrimonial: XIV Congreso Internacional de Arquitectura en Tierra en Ciudad de México, 2017 / coord. por José Luis Sainz Guerra, Félix Jové Sandoval, Luis Fernando Guerrero Baca, 2018, ISBN 978-84-09-06433-5, págs. 253-254
- Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y edificación, S.C.(2015). Industria de la construcción-Determinación de la absorción capilar en concreto hidráulico-método de ensayo. (NMX-C-504-ONNCCE-2015).
- Pérez, J. (2021). Tierra aligerada para el mejoramiento de la sensación térmica en viviendas rurales. Chalchicomula de Sesma, Puebla. Tesis que para optar por el grado de Maestro en Arquitectura. En el campo de conocimiento de Tecnologías. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Recuperado de: <https://ru.dgb.unam.mx/jspui/handle/20.500.14330/TES01000810338>
- Vissac, Aurélie & Bourgès, Ann & David, Gandreau & Anger, Romain & Fontaine, Laetitia. (2017). argiles & biopolymères - les stabilisants naturels pour la construction en terre. Craterre editions
- Volhard, F. (2016). Light Earth Building: A Handbook for Building with Wood and Earth. Alemania: Walter de Gruyter GmbH.

Implementación del Programa de Inmersión Social en la asignatura de Proyectos III de la licenciatura de Arquitectura de la Universidad Iberoamericana

Karina Sonia Schwartzman Faerman¹

Ángeles Eugenia López Herrera²

1 Universidad Iberoamericana Ciudad de México
Correo: karina@sb-arq.com

2 Universidad Iberoamericana Ciudad de México
Correo: angeles.lopez@ibero.mx

Resumen

Se presenta una sistematización retrospectiva de la práctica docente de la asignatura de Proyectos III del tercer semestre de la licenciatura de Arquitectura, como un caso exitoso de la implementación del Programa de Inmersión Social de la Universidad Iberoamericana. El propósito es describir el proceso de enseñanza y aprendizaje con respecto a las implicaciones educativas, ambientales, culturales y políticas.

El Programa de Inmersión Social es una de las principales innovaciones educativas de los nuevos planes de estudio Manresa, que tiene como intención despertar o fortalecer el compromiso social en el estudiantado, a través de la aplicación de contenidos disciplinares en la propuesta de solución a una problemática en un contexto social vulnerado. Se fundamenta en el Paradigma Pedagógico Ignaciano y el Aprendizaje y Servicio Solidario.

El tema principal de Proyectos III es una introducción teórico-práctica de la arquitectura sostenible, la cual se desarrolló a través de tres ciclos de aprendizaje con acciones sociales vinculadas a tres escenarios sociales diferentes donde se profundizó el estudio de tres principios: Respeto por las personas y el lugar, Respeto por el ciclo de la vida y Respeto por la energía y los recursos naturales.

Palabras Claves: Práctica docente, arquitectura sostenible, aprendizaje y servicio solidario, pedagogía ignaciana

Introducción

En agosto del 2021 comenzó la implementación de los planes de estudio Manresa en licenciaturas e ingenierías que ofrece la Universidad Iberoamericana. Una de sus principales innovaciones educativas se encuentra en la incorporación de la Trayectoria de Formación y Acción Social Universitaria, FASU, que tiene la intención de que el estudiantado construya al mismo tiempo que ensaya su proyecto de vida personal, profesional y comunitario orientado a la justicia planetaria, que camine con las poblaciones más vulneradas de su contexto. La Trayectoria de Formación y Acción Social Universitaria está conformada por el Taller de Integración Universitaria, el Programa de Inmersión Social, el Área de Reflexión Universitaria y el Programa de Servicio Social (Minakata, 2021).

El Programa de Inmersión Social alberga asignaturas disciplinares, entre el tercer y cuarto semestre, que contemplan un primer ejercicio en la formación profesional en contacto directo con la realidad, en donde se realizan acciones sociales o proyectos con aporte disciplinar, con la intención de despertar la indignación ante las injusticias y las desigualdades en el estudiantado.

El Programa de Inmersión Social coloca al centro la acción social¹ como el elemento que une los propósitos educativo-comunitario que permiten la relación entre docentes, estudiantes y espacios de Inmersión Social² con base en el siguiente esquema:



Figura 1. Programa de Inmersión Social Fuente: Elaboración propia

Cabe señalar que la acción social tiene una duración de un semestre con una generación, sin embargo, se pretende crear lazos sostenibles entre la universidad y el escenario social por medio del o la docente. De tal manera que de un semestre a otro se evalúa lo que sucedió de cara a lo que podría pasar con la siguiente generación, por lo que la suma de acciones social-disciplinares pequeñas pero significativas podrían lograr incidencias sociales o socioambientales para la transformación sistémica de territorios específicos.

Fundamentos educativos

La Universidad Iberoamericana se encuentra comprometida con la Incidencia Social Ignaciana, es decir con la capacidad de influenciar en las personas o en colectividades, especialmente en aquellas que tienen el poder, para que identifiquen, reconozcan y transformen los problemas que afectan a todas las personas, especialmente a las comunidades vulnerables y excluidas. El adjetivo de ignaciano se refiere a un modo de proceder crítico, solidario, reflexivo orientado a la construcción colectiva del bien común (Jaramillo, 2008).

En específico el programa se centra en la sensibilización de la ciudadanía y su activa participación en la solución de sus problemas (Jaramillo, 2008), a través de un intercambio de saberes en un entorno determinado se proponen, ensayan y evalúan formas de vida que propicien el pleno ejercicio de derechos; en donde las personas que lo habitan aportan sus

¹ La acción social se refiere al desarrollo de proyectos de aprendizaje disciplinar aplicados en un escenario de Inmersión Social, con orientación de los y las docentes, para contribuir con la satisfacción de necesidades (personales o institucionales) sentidas de las personas del lugar con el que se trabaja. El estudiantado puede tener contacto directo o indirecto con las personas que atraviesan una situación de vulnerabilidad mientras se desarrolla la acción social, pero siempre teniendo como fin su fortalecimiento.

² Los escenarios de Inmersión Social son las organizaciones no gubernamentales, grupos o colectivos, colonia o familias que atienden o atraviesan por alguna situación de vulnerabilidad.

conocimientos populares, ancestrales o empíricos; mientras que el estudiantado, junto con el o la docente, aportan conocimientos académicos disciplinares, para poder co-construir el conocimiento multidimensional sobre una problemática y posibles soluciones. De tal manera que se consolida un diálogo constante sobre diversas formas de conocimiento, además de que existe una confrontación de juicios y prejuicios derivados de los orígenes étnicos.

El Programa de Inmersión Social se fundamenta en la Pedagogía Ignaciana y el Aprendizaje-Servicio Solidario, ambas contienen principios filosóficos y metodológicos afines que facilitan el diálogo entre saberes, acompañados de reflexiones críticas sobre el presente histórico del entorno biocultural de un contexto determinado.

La Pedagogía Ignaciana es resultado de una larga herencia histórica que data del siglo XVI. Es un modelo que se ha resignificado continuamente, su inspiración se encuentra en la espiritualidad desarrollada por Ignacio de Loyola. La propuesta educativa es también una postura ética y política de acompañamiento del proceso de aprendizaje y de crecimiento personal donde se promueven actitudes hacia los demás y el mundo que buscan la justicia social (Seminario Interdisciplinario de Pedagogía Ignaciana, 2022).

Por su parte el Aprendizaje y Servicio Solidario se define como un proyecto educativo solidario protagonizado activamente por los estudiantes, articulado intencionadamente con los contenidos de aprendizaje (CLAYSS, 2016).

En el presente artículo se describe el proceso educativo de la primera generación que implementa el Programa de Inmersión Social, de la asignatura de Proyectos III del tercer semestre de la licenciatura de Arquitectura, de los nuevos planes de estudio Manresa en la Universidad Iberoamericana. Este espacio fue asignado para desarrollar el eje transversal de la sostenibilidad, “paradigma para pensar en un futuro en el cual las consideraciones ambientales, sociales y económicas se equilibran en la búsqueda del desarrollo y de una mejor calidad de vida.” (UNESCO, 2012). La sostenibilidad se desarrolla desde un enfoque transformador, porque integra procesos teóricos-reflexivos-prácticos que van de lo personal y comunitario.

Proyectos III de Arquitectura ha sido codiseñada por la Mtra. Karen Kerstin Poulain Jiménez y la Mtra. Karina Sonia Schwartzman Faerman, quienes han implementado tres ciclos de aprendizaje donde el Paradigma Pedagógico Ignaciano y el Aprendizaje y Servicio Solidario se recorren con mayor profundidad en cada uno de ellos.

Los principales temas que se abordan en la materia de Proyectos III son el diseño colaborativo en la arquitectura y una introducción teórica-práctica de arquitectura sustentable y la construcción bioclimática. La propuesta didáctica se basa en el posicionamiento de MacLennan (2004) de respetar las necesidades únicas de las personas, honrar su diversidad y devolverles el control sobre su entorno y comodidad personal. Con el fin de crear comunidades resilientes que sean uno con el lugar que habitan, que entiendan sus recursos y los manejen de manera responsable y consciente.

La enseñanza de la construcción bioclimática es la base para la generación de proyectos arquitectónicos sostenibles, ya que se fundamenta en la interpretación de las caracterís-

ticas biofísicas o preexistencias ambientales, a partir de ellas se optimiza la orientación, la ventilación y el uso de materiales locales para maximizar la eficiencia energética y el confort interior. La arquitectura bioclimática contribuye de manera significativa al bienestar, eficiencia, salud, economía y ecología. (Fuentes, 2002)

Las reflexiones derivadas de la sistematización que se comparte ha permitido rediseñar la asignatura para el siguiente semestre, destacando los elementos teórico-práctico que permiten generar un compromiso social que pueda perdurar en la vida profesional del estudiante, además de aspectos que permitan arraigar el vínculo con los escenarios sociales con quienes se colabora.

Metodología

La experiencia de la implementación del Programa de Inmersión Social en la asignatura de Proyectos III en Arquitectura que se comparte se basa en la primera etapa de una sistematización retrospectiva de la práctica docente, como una metodología de investigación educativa que evalúa de manera crítica lo sucedido, con la intención mejorar el siguiente ciclo escolar.

“La sistematización es un proceso que busca articular la práctica con la teoría y, por lo tanto, aporta simultáneamente a mejorar el acompañamiento y... el aprendizaje. El aprendizaje a partir de la práctica sólo es posible desde la reflexión analítica que confronte lo que se propuso hacer... con lo realmente sucedido, que contiene lo que se fue aprendiendo durante la práctica y se valida mediante la reflexión sobre la misma” (Ramos & Vidal, 2016).

La presente sistematización tiene la necesidad de conocer, dar a conocer y cualificar las prácticas, por lo que narra un proceso de producción de conocimiento a partir de la práctica y el marco conceptual-operativo que lo ha permitido. El propósito de la sistematización es el describir la práctica docente y las implicaciones educativas, ambientales, culturales y políticas de la asignatura de Proyectos III de la licenciatura de arquitectura que responda a los desafíos contextuales comunitarios.

Para la sistematización se han determinado las siguientes dimensiones de análisis:

| <i>Dimensión</i> | <i>Área de análisis</i> |
|------------------|--|
| Educativa | Explora las estrategias y metodologías con las que desarrolla la clase, además de los factores del entorno laboral que favorecen o impiden el desarrollo de la asignatura. |
| Ambiental | Explora la relación con el entorno natural en donde se sitúa el aprendizaje. Por el temario de la asignatura se abordan los alcances disciplinares en cuanto a la sustentabilidad. |
| Cultural | Explora el entendimiento de las diferentes formas de vida, usos y costumbres de un entorno social en relación con el desenvolvimiento del estudiantado. |
| Político | Explora las relaciones interpersonales en la organización y toma de decisión sobre un territorio. |

El enfoque de la sistematización ha sido dialógica-interactiva, es decir se han recuperado “las experiencias como espacios de interacción, comunicación y relación... se construye conocimiento a partir de referentes externos e internos que permiten tematizar problemas que se dan en las prácticas educativas” (Ramos & Vidal, 2016). Para lo cual se ha recuperado el testimonio de diferentes actores que han participado en el proceso educativo, con la intención de mantener la congruencia entre las metodologías participativas con las que se han implementado las acciones sociales en los diferentes escenarios.

Por último, se ha buscado la sistematización del proceso “...para analizar los factores metodológicos que están ayudando u obstaculizando para conseguir las metas planteadas” (Ramos & Vidal, 2016). El proceso educativo está contextualizado en diversos entornos específicos por lo que las características ambientales, geográficas, históricas, demográficas, socioeconómicas han determinado el tipo de co-construcción de significados.

Desarrollo

El principal tema disciplinar de la asignatura es la arquitectura sustentable, que se inspira en la visión de MacLennan (2004), la forma de construir hoy en día ha perdido respeto por el lugar natural, antes los lugares definían nuestra arquitectura, pero en muchos casos de la arquitectura moderna, el lugar se ha vuelto irrelevante, o peor, ha sido despreciado. Por esta razón la práctica docente en arquitectura adquiere relevancia al propiciar ejercicios de respeto por el lugar a la par de escuchar las necesidades reales de quienes lo habitan, para después regenerar el sistema desde el entendimiento profundo de su historia, su transformación en el tiempo y la lectura del potencial.

La asignatura de Proyectos III de la licenciatura de Arquitectura pretende cumplir con los siguientes fines de aprendizaje o fines formativos institucionales:

1. Descubrir, a través de una reflexión dialógica, la responsabilidad/vocación en la Incidencia social para detonar la capacidad de compasión, empatía y vinculación con comunidades vulnerables.
2. Identificar necesidades sociales vinculadas a su profesión a partir de una observación reflexiva y participativa de la realidad.
3. Integrar su experiencia personal con la profesional para contribuir a su formación como agentes de transformación social.
4. Identificar las diversas líneas de acción en procesos metodológicos para realizar proyectos de incidencia.
5. Analizar diversos casos análogos o proyectos de incidencia socioambiental y el impacto que ha generado en su entorno para identificar el potencial de desarrollo regenerativo de los proyectos de incidencia.

Lo anterior se logra por medio de la implementación de tres ciclos de aprendizaje y servicio solidario en tres escenarios diferentes:

| <i>Ciclo de aprendizaje</i> | <i>Escenario social</i> | <i>Acción social solidaria</i> | <i>Objetivo de aprendizaje disciplinar</i> |
|---|--|---|---|
| Primero: La arquitectura dentro de un ecosistema natural | Colonia El Árbol-Centro Meneses, Ciudad de México | Diagnóstico socioambiental participativo para la recuperación de un espacio público | Conocer las relaciones de las personas con el ecosistema que habitan, para después establecer relaciones arquitectónicas armónicas con el lugar |
| Segundo: Respuesta arquitectónica de emergencia | Comité de Ayuda a Desastres y Emergencias Nacionales, CADENA, Ciudad de México | Prototipo de vivienda emergente | Aplicar principios de arquitectura de emergencia en un prototipo de vivienda para personas que se encuentran ante un desastre natural |
| Tercero: Vivienda sostenible económicamente asequible | Centro Viva, Valle de Bravo, Edo. De México | Prototipo de vivienda sostenible para población en extrema pobreza | Aplicar principios de arquitectura sostenible en un prototipo de vivienda sostenible económicamente asequible para población en extrema pobreza |

Fuente: Elaboración propia

En cada uno de los ciclos de aprendizaje van profundizando los siguientes los principios de la arquitectura sustentable:

1. Respeto por las personas y el lugar

El propósito educativo es que el estudiantado desarrolle habilidades de discernimiento, articulación y direccionalidad en la arquitectura para que incluya criterios de integración, adaptabilidad, recuperación y/o regeneración ambiental ante la crisis civilizatoria que atraviesa la humanidad.

2. Respeto por el ciclo de la vida

El propósito educativo es que el estudiantado diseñe y tome decisiones de manera responsable entendiendo que somos parte de ciclos de vida, y que la modificación de una parte tiene consecuencias en el resto de las partes.

3. Respeto por la energía y los recursos naturales

El propósito educativo es que el estudiantado integre la idea de que los recursos son finitos, por lo que el diseño debe incorporar a los diferentes tipos de energía. Por lo que es necesario preguntarnos sobre el origen de los materiales, su huella ecológica y de CO2, con la intención de tomar decisiones que disminuyan el impacto ambiental.

Primer ciclo: La arquitectura dentro de un ecosistema natural.

Centro Meneses. Diagnóstico socioambiental participativo para la recuperación de un espacio público

El primer ciclo de aprendizaje se realizó en colaboración con Centro Centro Meneses y vecinos de la Colonia “El Árbol”. El Centro Meneses forma parte de los programas de Incidencia Social de la Universidad Iberoamericana. El centro se encuentra comprometido con la promoción de la justicia social en los pueblos de Santa Fe, mediante la gestión de proyectos sociales universitarios para el desarrollo de procesos de autogestión comunitaria. De acuerdo con Javier Sánchez, coordinador de vinculación, el Centro Meneses en la actualidad tiene como prioridad el desarrollo de proyectos estudiantiles y sociales para recuperar espacios públicos cercanos al río Becerra.

Las barrancas de Santa Fe se encuentran enclavadas en la Sierra de las Cruces, que se caracteriza por ser un bosque templado de coníferas, y aún se presentan especies endogámicas de animales como el cacomixtle, coyote, gato montés, tlacuache, zorrillo, entre otros. Con el incremento de los asentamientos humanos se ha cambiado el uso de suelo y se ha deforestado el bosque a causa de los megaproyectos urbanos. Además, el río Becerra se encuentra contaminado debido a que el drenaje de algunos complejos residenciales y comerciales desembocan en él y otros lo hacen en la res de agua subterránea, además de la práctica de tirar la basura en él. Estas problemáticas han traído como consecuencia un desequilibrio ecosistémico en la zona, que incrementa su percepción cuando el río se desborda. (Ortíz, 2019).

Las problemáticas anteriores fueron descritas a un nivel micro con las personas vecinas de la Colonia “El Árbol” que se encuentran interesadas en recuperar algunos espacios públicos. Por lo que la actividad educativa consistió en realizar un diagnóstico socioambiental participativo que permitiera identificar acciones arquitectónicas potenciales en su ecosistema.

Tomando como base la metodología de Warriors Without Weapons (Instituto ELOS, 2020) y “80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación” (Geilfus, 2009) el estudiantado desarrollo actividades para identificar problemáticas y potencialidades en el territorio. De esta manera se colocaron al centro del proceso a los y las vecinas de la zona para una apropiación del proceso participativo, para que en un futuro cuando se decida qué hacer con el lugar se responsabilicen de la ejecución, mantenimiento y vida del proyecto arquitectónico.



Figura 2. Presentación del diagnóstico participativo

Segundo ciclo: Respuesta arquitectónica de emergencia

Comité de Ayuda a Desastres a Emergencias Nacionales, CADENA. Diseño de vivienda emergente

El segundo ciclo de aprendizaje se realizó en colaboración con el Comité de Ayuda a Desastres e Emergencias Nacionales, CADENA, el cual es una asociación civil de la comunidad judía dedicada al rescate, prevención y asistencia de lugares donde ocurren emergencias y desastres alrededor del mundo.

En palabras de Tamara Amkie, gestora de proyectos educativos y capacitación, “Lamentablemente, las emergencias y los desastres serán cada vez más frecuentes y más intensos y tendremos que estar preparados para reaccionar ante estos para poder disminuir los daños y pérdida”.

Por tal motivo se incorpora el tema de arquitectura de la emergencia como una respuesta a las necesidades humanas de refugio que surgen a causa de los efectos de los desastres naturales o conflictos civiles, donde la arquitectura brinda soluciones inmediatas de protección temporal en las zonas afectadas (Muñoz, 2015).

La actividad educativa consistió en desarrollar una propuesta de vivienda emergente que responda a las necesidades de un desastre natural que se vive normalmente en México. En este Segundo ciclo se profundiza el conocimiento sobre los efectos ambientales y sociales más catastróficos de la actualidad, pero se integra un factor esperanzador y de proactividad al brindarle al estudiantado elementos que le permiten incidir en estos contextos.

Tercer ciclo: Vivienda sostenible económicamente asequible

Centro Viva. Prototipo de vivienda para población en extrema pobreza

El tercer ciclo de aprendizaje se realizó en colaboración con Centro Viva, que fomenta el uso de sistemas constructivos de bajo impacto ambiental, técnicas de autoconstrucción, implementación de tecnología limpia para la transición de formas de vida sostenible.

Durante esta experiencia de aprendizaje el estudiantado tiene la oportunidad de convivir con familias de la localidad de Mesa Rica, Valle de Bravo, según datos del INEGI (2010) cuenta con una población de 342 habitantes, pero que en 5 años ha crecido un 105% y para el 2030 se prevé que duplique su población. Es un poblado que se encuentra en alto grado de marginación, ya que el 85% de las viviendas no cuentan con agua potable entubada, el 63% no cuenta con refrigerador y el 56% no tienen instalaciones de WC. Sólo cuentan con un preescolar, una primaria y una telesecundaria.

La actividad educativa consistió en visitar las viviendas construidas por la comunidad y entrevistas a las familias que las habitan, así como participar en un taller de construcción con tierra donde realizan ladrillos de adobe.



Figura 3. Diseño participativo



Figura 4. Realizando entrevistas a familias de la comunidad



Figura 5. Realizando ladrillos de adobe (fotografías por Edna Silva Tovar)

Al regreso y como ejercicio académico de final del semestre el estudiantado diseñó un prototipo de vivienda integrando las necesidades ambientales de la zona y partiendo de la escucha a las familias entrevistadas en cuanto al mejoramiento de la vivienda que habitan y que se construyó en colaboración con Centro Viva.

En este ejercicio se recuperan las vivencias de los primeros dos ciclos para incorporar los aprendizajes sociales y disciplinares. Durante el desarrollo de la propuesta arquitectónica arquitectos expertos en arquitectura sostenible asisten al aula para compartir correcciones y sugerencias a los diseños. En la entrega final el estudiantado presenta el prototipo a sus docentes, a los arquitectos que fueron invitados previamente y a autoridades de Centro Viva; en este momento el estudiantado pone a prueba de manera oral sus aprendizajes sobre vivienda sostenible económicamente asequible en términos de clima, materialidad, soluciones espaciales. Al finalizar las personas invitadas eligen prototipos para ser mejorados profesionalmente y en un futuro implementarlos como viviendas en la comunidad de Mesa Rica.



Figura 6. Casa Modelo
por Juan Cristóbal Suarez y Santiago Arancibia



Figura 7. Casa Terán
por Ángel Arellano y Francisco Ruiz Ortega

Este último ciclo de aprendizaje integra habilidades de razonamiento técnico, estético y simbólico basados en el diálogo humano-naturaleza y de conocimiento social-disciplinar.

Resultados

La experiencia de Proyectos III de la licenciatura de Arquitectura es uno de los casos que más se acerca a las pretensiones del Programa de Inmersión Social como una de las principales innovaciones educativas de los nuevos planes de estudio Manresa, debido a que ha permitido visibilizar las siguientes dimensiones transformadoras.

En la dimensión educativa en los tres ciclos se ejercitaron tanto el Paradigma Pedagógico Ignaciano y el aprendizaje y servicio solidario.

En el documento "Pedagogía ignaciana. Un planteamiento práctico" (1993) citado por Martínez (2022), se caracterizan cinco elementos claves que constituyen un paradigma: contexto, experiencia, reflexión, acción y evaluación. En esta experiencia se desarrolló de la siguiente manera:

- A. Contexto: se analiza de manera crítica y dialógica las desigualdades históricas que atraviesan los lugares y las personas donde se realizaron las acciones sociales. Mientras que el estudiantado se confrontó con su situación de privilegio.
- B. Experiencia: estar in situ permitió que los estudiantes senti-pensaran los efectos que causa en las personas y los lugares la realidad desigual.
- C. Reflexión: el estudiantado realizó cruces entre la teoría y la práctica para encontrar las brechas y las causas estructurales de las problemáticas a nivel lo micro y en lo macro, lo cual contribuyó al fortalecimiento de una conciencia crítica y creativa sobre la realidad compleja.

- D. Acción: a partir de lo que se observó y analizó se propusieron acciones sociales alcanzables en un semestre que contribuyen al desarrollo de capacidades personales o institucionales en los lugares. Al tiempo que el estudiantado puso en práctica habilidades sociales y académicas.
- E. Evaluación: de manera dialógica se revisaron los conocimientos y la congruencia y contradicción entre los conocimientos teórico-prácticos aplicados en los diferentes contextos a la luz de las vulneraciones a los derechos que viven las personas en los lugares. A nivel personal, el estudiantado se permitió caracterizar sus limitaciones y potencialidades sociales y académicas al enfrentarse a historias de vida diferentes a la suya, con la finalidad de que externar posicionamientos personales sobre la justicia social.

De esta manera, la pedagogía fue una guía filosófica y metodológica cíclica que ha evolucionado en la forma de proceder al interior y al exterior del aula, en cada ciclo de aprendizaje.

“Estudiar Arquitectura me ha dado la oportunidad de interactuar con distintas comunidades y ver la forma en la que puedo colaborar con ellas para poder generar comunidad y descubrir el potencial que tenemos para aportar soluciones. Durante mi clase de Proyectos 3, desarrollé habilidades como el trabajo en equipo, el afecto a las personas y el poder elaborar varios diagnósticos participativos de calidad, los cuales me permitieron comprender las necesidades de una comunidad o personas para así proponer un proyecto con soluciones viables y sustentables cuyo efecto sea de beneficio en la comunidad.” Testimonio de la estudiante Lucia Tonantzin Miranda Lira

Por su parte el Aprendizaje y Servicio Solidario refuerza elementos que promueven el desarrollo de “comunidades de solidaridad” (Jaramillo, 2008) donde se integran personas procedentes de diferentes contextos y edades.

Los rasgos fundamentales que caracterizan al Aprendizaje y Servicio Solidario son (CLAYSS, 2016):

- Servicio solidario destinado a atender las necesidades reales y sentidas de la comunidad
- Servicio protagonizado por el estudiantado
- Planificado y ejecutado con contenidos curriculares integrados a la experiencia de servicio.

El enfoque del aprendizaje y servicio solidario permitió que el estudiantado se asumiera como protagonista del análisis crítico de las problemáticas socioambientales relacionadas con la arquitectura, a través de tres casos prácticos donde co-diseñaron propuestas de solución a diferentes vulnerabilidades socioambientales interrelacionando el conocimiento teórico-práctico.

“El taller de proyectos III tenía un enfoque muy particular, hacía proyectos socio-ambientales, a través del entendimiento del entorno y el crecimiento personal. Así como por medio de diversas pláticas con arquitectos que lograron ... inspirarnos ... ¡No fue una clase cualquiera, fue una inolvidable!

El taller tuvo un impacto más allá de lo académico, ya que en este el trabajo social y ambiental eran la prioridad. Durante el curso trabajamos en dos principales proyectos: Un diagnóstico participativo y el diseño de una casa modelo. El primero, se realizó en la colonia “El Árbol” ubicada en la alcaldía Álvaro Obregón, éste tenía el objetivo de identificar áreas de oportunidad y problemáticas de la mano de la comunidad, para una futura propuesta de proyecto que beneficiara a la colonia. Posteriormente colaboramos con el Centro Viva en Mesa Rica, Valle de Bravo, el propósito de este proyecto fue diseñar una propuesta de vivienda para familias de bajos recursos. La consigna fue que se aprovecharan materiales locales y que empleara un sistema de construcción de bajo impacto ambiental. Para cumplir con esto, se incorporaron distintas ecotecnologías como baños secos, biojardineras y tloques de captación pluvial para efficientar y aprovechar los recursos y residuos generados, al igual que muros de adobe que pudieran ser fabricados por personas de la comunidad y que brindaran confort térmico. En ambos proyectos, la conexión con el entorno y con la comunidad fue fundamental, conocer y entender sus necesidades y tener otra perspectiva del lugar en el que habitan de una manera más personal y cercana, se logró a través de pláticas, entrevistas y actividades, con niños, personas de la tercera edad, mujeres y jóvenes.”

Testimonio de la estudiante Ana Lucía Cuenca Montoya

En la *dimensión ambiental* fue parte intrínseca de la asignatura tener como eje central a la sustentabilidad, rompiendo con el “síndrome del edificio enfermo se define como un estado sostenido de condiciones ambientales interiores insalubres” (MacLennan, 2004). Con los ciclos de aprendizaje el estudiantado ha ampliado su comprensión sobre las relaciones entre el sistema natural y el ambiente modificado por la humanidad, y cómo la arquitectura puede facilitar las relaciones armónicas con la naturaleza o realizar construcciones que aumenten la brecha. Donde los principios del curso se entrelazaron, el respeto por las personas y el lugar; por el ciclo de vida; por la energía y los recursos naturales.

En la actividad educativa con CADENA, el estudiantado amplió el espectro sobre los factores de vulnerabilidad que puede tener la humanidad, que además de las causas sociales, económicas, laborales o de salud están los desastres naturales o las guerras. Este contexto extremo coloca al estudiantado en otra lógica donde las necesidades básicas necesitan estar resueltas con arquitectura de fácil construcción, con materiales viables y con una durabilidad específica. Durante el ejercicio conectan la seguridad y su papel en el tema, por lo que se les invita a pensar de manera más global sobre su servicio como arquitectos que brindan cobijo a miles de familias en situación de emergencia.

“Colaborar en la clase de proyectos A fue una maravillosa experiencia que evidencia lo relevante que es la transversalización de la acción humanitaria en todas las profesiones. Fue muy emocionante ver los proyectos que presentaron los alumnos en tan poco tiempo. Sembrar la conciencia de la responsabilidad por el Otro en las generaciones más jóvenes, es lo que nos permitirá enfrentarnos a las crisis que nos duelen como humanidad y construir un mejor lugar para todos.” Testimonio de Tamara Amkie, gestora de proyectos educativos y capacitación.

El ciclo del inicio y del final se concentran en visibilizar la importancia de “una arquitectura ambientalmente sana significa que toda construcción tenga un manejo racional del capital natural del planeta... incorporando a la naturaleza en el contexto inmediato a la construcción, ofreciendo confort y accesibilidad a los usuarios” (Rosales, Rincón, & Millán, 2016). Desde esta perspectiva los ciclos de aprendizaje estuvieron alineados a regenerar el tejido social y la naturaleza del sitio.

“La educación ambiental y el contacto con proyectos sociales sensibilizan a los jóvenes ante los desafíos actuales, desarrollan habilidades y competencias para resolver problemas y tomar decisiones que tengan impacto en su entorno, además les da una visión integral de los proyectos que pueden desarrollan tanto en la universidad como en su vida profesional”
Testimonio de Edna Silva Tovar, Directora General de Programa Viva A.C.

Por lo que los ciclos de aprendizaje buscan generar un “diálogo disciplinar entre la arquitectura y la naturaleza [para desarrollar o fortalecer] un pensamiento proyectual que permita la reducción del impacto ambiental producto de la construcción” (Rosales, Rincón, & Millán, 2016).

En el ciclo de aprendizaje desarrollado en Centro Viva, se hicieron implícitos y explícitos cuestionamientos sobre las técnicas convencionales de construcción frente a la bioconstrucción, la construcción natural o ecológico desde los efectos ambientales. Pero también como otra forma de organización para la construcción en armonía con el entorno, que permite democratizar saberes técnicos y ancestrales. “No hay individuo que de manera independiente sepa todas las problemáticas que necesitan ser resueltas; el conocimiento colectivo es mucho más grande que el conocimiento individual” (Bill Reed, 2009).

Las siguientes dos dimensiones, la cultural y la política se desarrollaron mediante los diálogos entre el estudiantado y las personas que viven en los escenarios sociales, es decir en el primer y último ciclo.

En la dimensión cultural el estudiantado ha tenido diálogos profundos con la compleja y contradictoria realidad desigual, a partir de los cuales el estudiantado reflexionó sobre las dificultades estructurales que impiden la movilidad social, superando los prejuicios por el origen social.

Los diálogos con las personas de las barrancas de Santa Fe y de la Comunidad de Mesa Rica permitieron acercarse a la contraepistemología que sugiere Boaventura de Sousa Santos (2014) con el concepto de ecología de saberes, en donde se visibilizan y validan los conocimientos ancestrales, populares y empíricos que habitan las personas en los territorios, esto como un acto de resistencia a las formas capitalistas. Al mismo tiempo que se comparte conocimiento científico y académico que puede proveer de soluciones técnicas viables a problemáticas. De esta manera surge un “pensamiento colectivo propositivo y pluralista” (De Sousa Santos, 2014).

“Logré visitar la comunidad del Árbol en Álvaro Obregón y Mesa Rica en Valle de Bravo donde me enfrenté a distintos tipos de usuarios, personas cuyo estándar de vida no es favorable, fue en ese momento en el que empecé a apreciar la arquitectura desde otro punto de vista y ver cómo puedo construir ideas y proyectos innovadores que ayuden a generar un cambio positivo en la comunidad. A lo largo del semestre creé un proyecto el cual tenía como objetivo generar un espacio multifuncional y sustentable para estos usuarios y aprendí como un lugar bien diseñado no solo ayuda a satisfacer las necesidades de una persona si no que logra darles nuevas oportunidades de vida. Gracias a este proyecto valoro la forma en la que mi educación me proporciona herramientas para generar un sentido de pertenencia y sustentabilidad en las comunidades de mi alrededor.” Testimonio de la estudiante Lucia Tonantzin Miranda Lira

De la mano de la anterior dimensión, los diálogos con las personas que viven alguna vulnerabilidad permitieron el desarrollo de la dimensión política donde se vivenció la filosofía africana del “Botho, bunbu, ubuntu es el concepto central de la organización social y política... de las personas que hablan lenguas bantúes. Consiste en los principios de atención, intercambio y cuidado recíproco... es un sustantivo verbal que denota al mismo tiempo un estado particular del ser y devenir. Ubuntu indica.. una acción concreta realizada, ... duradera o estado del ser..” (De Sousa Santos, 2014)

Por lo que la atención, intercambio y cuidado recíproco en los diálogos estableció una dinámica horizontal de poder, donde cada persona reconocía la dignidad y valor de la otra sin importar su origen social o su edad. Por lo que los diálogos han sido un ejercicio práctico del “pensamiento descolonial como respuesta epistémica subalterna al proyecto eurocéntrico de la modernidad... redefinen la retórica emancipatoria ... localizada en el lado oprimido y explotado por las relaciones coloniales [históricas]...” (De Sousa Santos, 2014) sin rechazar ningún tipo de conocimiento se han tratado de encontrar respuestas o soluciones abrazando la contradicción como la consigna del Ejército Zapatista de Liberación Nacional menciona “todos somos iguales porque todos somos diferentes”, en ella se asume la relación contradictoria de la democracia y la modernidad, abriendo otro mundo posible no dicotómico.

“Haber tenido la oportunidad de acercarnos a las personas de las distintas comunidades tuvo un fuerte impacto en mí, ya que al escuchar sus historias, su día a día y el ponerme un poquito en sus zapatos, fueron la clave para proponer y diseñar desde otro lugar; un lugar consciente, empático y enfocado en lo que necesitaban y lo que se adecuara más a su manera de vivir, que pudiera de alguna manera mejorar su calidad de vida y que tuviera un impacto positivo en el medio ambiente. Al concluir el semestre, me llevé la satisfacción de poder ser parte de algo que va más allá de las cuatro paredes de un salón de clases, algo que tuvo un impacto en la vida de las personas de estas comunidades y del entorno que les rodeaba”

Testimonio de la estudiante Ana Lucía Cuenca Montoya

Consideramos que un elemento fundamental para lograr diálogos horizontales es que nos enfocamos en crear metas en común, los estudiantes de aplicar lo que están aprendiendo y tener sus primeras prácticas con usuarios reales, las comunidades de querer vivir mejor. Por lo que construir proyectos viables en común permite vincular a los estudiantes con las comunidades, otro elemento fue utilizar el festejo y la convivencia como un lugar de encuentro para compartir comida, baile y música como el fin de una etapa pero que da paso a la siguiente generación para seguir fortaleciendo la colaboración igualitaria.

“La dinámica implementada por la maestra ha sido bien recibida por la comunidad, con mucha apertura y escucha activa, van dando forma a esas ideas que ahí están pero que no alcanzan a aterrizar, es ahí donde reside la riqueza del proyecto, la importancia de hacer los proyectos en las calles, con la gente sentada en la banqueta dialogando, soñando, ideando, sueños colectivos que puedan cambiar la realidad de espacios y comunidades vulnerados por condiciones ajenas, aunque hay otras que hemos provocado por la falta de sensibilidad o información de nuestro entorno. Ese es el trabajo de Centro Meneses, ser facilitadores en la relación universidad-comunidad, donde la vinculación entre ambos actores pueda dar frutos que impacten de manera positiva a todas las personas participantes, (estudiantes, profesoras, vecinas y vecinos, instituciones), siempre con una perspectiva de derechos, de igualdad, de equidad en un espacio que nos permita compartir saberes y al final, construir nuevos conocimientos y posibilidades”. Testimonio del coordinador de vinculación del Centro Meneses, José Javier Sánchez Ramírez

A través de estas dimensiones el estudiantado ha sido capaz de mirar y entender la justicia social y ambiental desde diferentes fuentes de información como las académicas y las populares, situadas en cada contexto, para cuestionarse constantemente sobre su posicionamiento ético y político sobre a favor de quien o de qué ejercer su profesión.

Conclusiones

La asignatura de Proyectos III de la licenciatura de Arquitectura, ilustra los alcances del Programa de Inmersión, que tiene como horizonte de llegada la Incidencia Ignaciana, mediante acciones concatenadas orientadas a la justicia social, pero que sólo se logra con el compromiso del docente con los territorios, pues es el puente que une el trabajo de una generación con otra. Por lo tanto, este programa tiene la misión de sembrar el compromiso social que promueve la universidad.

Después de la recuperación de la experiencia hemos encontrado aspectos que han facilitado, debilitado o fortalecido la práctica docente en la asignatura de Proyectos III de Arquitectura, en cada ciclo de aprendizaje han sido muy distintos, pero en el marco de las dimensiones a continuación, se comparte lo más sobresaliente:

En la dimensión educativa las metodologías didácticas que brinda el Paradigma Pedagógico Educativo y el aprendizaje y servicio solidario han permitido establecer un intercambio profundo entre las docentes y estudiantes, ha sido como una semilla que se ha nutrido, desarrollado e incluso ha trascendido fuera del aula. Al compartir sueños y aspiraciones la sinergia ha invadido otros proyectos.

Consideramos que lo que propicia una relación cercana entre la docencia y el estudiantado es una reflexión sobre la vocación de servicio desde el ejercicio profesional. Se conecta la parte creativa y profunda de los sueños y aspiraciones, con parte de la historia personal, la relación con sus amistades y familiares. En el camino reconocemos que cada ser humano es único y especial, teniendo como consecuencia un ambiente de mayor confianza. Esto es importante porque en los tres ejercicios se enfrentan a realidades muy distintas a las suyas

y se debe de abrir un canal de comunicación que acompañe en los procesos de inmersión. Además, ha permitido que la forma de evaluar sea un proceso de evaluación transparente, dialógico y flexible; aunque el reto sigue siendo que a veces caemos en lo subjetivo.

Un aspecto a revisar son los tiempos para el desarrollo de los proyectos, porque ha sido poco el tiempo entre las observaciones y las correcciones, en ocasiones perdemos de vista que son estudiantes de tercer semestre.

Por otra parte, el marco institucional que brinda la Universidad Iberoamericana ha facilitado que se generen vínculos estrechos y duraderos con las comunidades, lo cual permite un compromiso de doble vía, un sentido de responsabilidad y empatía por la otredad. Dado que Programa de Inmersión permite que el estudiantado libere horas de servicio social, es una motivación académica que puede dar continuidad al proyecto y la vocación de servicio.

A través de la dimensión ambiental se desarrollaron los contenidos disciplinares de la asignatura, por lo que cada ciclo de aprendizaje constituye una manera vivencial de abordar los desafíos que la arquitectura actual experimenta, para que el estudiantado visibilice lo urgente e importante que es integrar principios de sustentabilidad en la arquitectura:

En primer lugar integrar la concepción de la arquitectura al medio natural, incorporándolo a la noción de paisaje cultural: “representan las obras que combinan el trabajo del hombre y la naturaleza... incluye una diversidad de manifestaciones de la interacción entre el hombre y su ambiente natural”. (UNESCO, 1972. Art 1) Por lo que la arquitectura debe ser arquitectura ambientalmente sana, asumiendo un manejo racional de los recursos naturales, incorporando mecanismos para el ahorro energético, el reciclaje de aguas y materiales; adaptación a la topografía para aprovecharse la iluminación y ventilación naturales, etc.

Lo segundo es que la arquitectura debe ser socialmente justa para que el ser humano pueda realizar todas sus actividades y ejercer la plenitud de sus derechos.

Lo tercero es que la arquitectura tiene que ser económicamente viable, implica el uso de alternativas constructivas acordes con las condiciones de cada territorio, utilizando materiales de la zona y tecnologías locales.

Partir del entendimiento profundo del lugar antes de diseñar permite reconocer la esencia única del lugar, su historia, los factores climáticos, los materiales del sitio, la flora y la fauna, y el contexto socioeconómico. Diseñar con características bioclimáticas con el contexto significa atender las necesidades de la vida del lugar, no sólo la humana, y dentro de esos límites generar un confort, belleza, armonía y dignidad.

Un aporte importante en la construcción bioclimática es el uso de materiales, y técnicas que permiten una correcta eficiencia energética y un máximo confort tanto al interior y exterior de la edificación, por lo que se hizo un especial énfasis en la enseñanza de técnicas de construcción con tierra, como una alternativa sostenible, debido a:

- Accesible, la tierra que es uno de los más abundantes en la naturaleza, está al alcance de pueblos y comunidades de alta vulnerabilidad.

- Aislamiento acústico y térmico - propiedad de absorber y expulsar el agua, higroscopicidad.
- No representa un costo energético alto ni produce mayor impacto ambiental al momento de su extracción o transformación.
- Brinda posibilidades de diseño, aplicaciones y técnicas para la construcción.
- Recupera la sabiduría ancestral.

Para que se pueda desarrollar esta asignatura es necesario que el estudiantado llegue al tercer semestre con ciertos conocimientos previos que permitan una mayor apropiación e implementación de los temas que vemos en clase como por ejemplo un análisis del entorno profundo, en este grupo algunos sí venían preparados, pero muchos no. Otro aspecto es el desarrollo de un concepto arquitectónico, de la mano con el dibujo a mano antes del uso de programa de computadora, ambas competencias permiten que el interés de las personas se conserve pues comienza a ver plasmadas sus necesidades y posibles soluciones.

La calidad disciplinar de la propuesta que desarrollan los estudiantes depende de qué tanto logran tener cercanía de los proyectos, si se logran conectar con las necesidades ambientales o sociales. Si lo logran los proyectos se vuelven apropiados, accesibles o viables, y son los que les damos seguimiento en los siguientes semestres.

Por ejemplo, en el diagnóstico participativo la mayoría de los estudiantes tuvieron una conexión afectuosa con las y los vecinos de la colonia El Árbol, que permitió que la devolución de los resultados fuera en el marco de una celebración donde cada quien compartió diferentes talentos y expresiones artísticas. En consecuencia, el estudiantado se quedó con la necesidad de aportar más y con el deseo de darle continuidad a lo largo de un semestre.

Otro ejemplo es que el estudiantado que se involucró con las necesidades sentidas de las familias entrevistadas de Mesa Rica, realizó propuestas donde cada persona tuviera un espacio propio en la vivienda y que al mismo tiempo conservara el sentido comunal.

Sin embargo, el ejercicio de la arquitectura de emergencia estuvo un tanto lejano a las necesidades reales, si bien eran funcionales, faltó aterrizarlo en ejemplos concretos y actuales. Por lo que para el próximo semestre ocuparemos noticias que estén vigentes en el momento para que ese sea el contexto del ejercicio.

En cuanto a la construcción con tierra como un saber vernáculo y sustentable, nos dimos cuenta que debemos profundizar en lo teórico y en lo práctico a partir de la experiencia de construir con sus propias manos con tierra.

En la dimensión cultural el inicio fue complicado, por la seguridad, es un reto operativo y no es tan tangible, ya que al realizar la inmersión del estudiantado en contextos de vulnerabilidad se vuelve difícil la accesibilidad y de seguridad física. El estudiantado se ve impactado al visitar estos sitios que son tan cercanos a los espacios que normalmente visitan pero que son tan lejanos a su realidad, por lo que es necesario prepararlos para enfrentarse con otras

realidades. Pero más allá de esta dificultad, tratamos de que el estudiantado conecte con el potencial, sobre lo que pudiera suceder.

Los documentos que el estudiantado ha desarrollado, en especial el de la colonia El Árbol se ha convertido en parte de la bibliografía para el siguiente curso, pues contiene información relevante para el entendimiento del lugar, lo cual valida el conocimiento popular de quienes lo habitan.

Otro desafío fue la aplicación de contenido teórico-práctico en torno al diseño colaborativo en la arquitectura con la implementación de diagnósticos participativos, pues es un tema social que no es intrínseco a la disciplina, por lo que requerimos enriquecer el tema con ejemplos de otros proyectos arquitectónicos.

Las entrevistas o el diálogo con las personas de las comunidades despiertan una necesidad en el estudiantado por “resolver” problemáticas, pero se dan cuenta que sólo lo pueden hacer a partir de escuchar lo que las personas necesitan. También valoran la posibilidad de establecer mejoras a lo que existe, lo cual implica una validación a sus formas de vida, lo cual dignifica el proceso. Como consecuencia se fortalece la vocación de servicio al mismo tiempo que comienzan a dibujar posibilidades, y que se necesita humildad para reconocer que existen otros saberes.

Estos ejercicios de involucrarse en la vida de otras personas con las que aparentemente se tiene poco en común, hace que el estudiantado visibilice la importancia de la gratitud por el privilegio y la empatía más allá de la clase social, colocando al centro la calidad de vida de las personas y de los lugares, como una trama de relaciones interminables dentro de un sistema.

En la dimensión política se pusieron a prueba otras formas de organización que permite converger a personas de diferentes clases sociales y edades en igualdad de condiciones para que todas las partes aporten ideas para la solución a problemáticas. Lo cual ha permitido resaltar el valor de una participación no es quien dirige, sino el que interpreta, entiende y traduce las necesidades. Los ciclos de aprendizaje les demostraron a los estudiantes que los proyectos urbanos y de paisaje participativos podrían permitir una apropiación y cuidado de los lugares, con soluciones que enaltezcan el sitio.

Uno de los grandes objetivos es que el alumno desarrolle conciencia de la importancia de su quehacer arquitectónico y su incidencia en la realidad socioambiental en México, realizando propuestas arquitectónicas apropiadas a su contexto, pero desde el respeto al entorno natural. A través del diagnóstico y diseño participativo, hará un planteamiento básico, considerando criterios de sistemas constructivos y materiales apropiados para cada uno de los ejercicios propuestos y diseñados especialmente para la materia.

Ser docente de este tipo de asignaturas te transforma en lo personal y en lo profesional, porque de manera implícita se apela a una congruencia entre lo que enseñas, lo que vives y en la forma en la que te relaciones con las demás personas y con el entorno.

BIBLIOGRAFÍA

- CLAYSS (2016). Manual para docentes y estudiantes solidarios. CLAYSS: Buenos Aires. Disponible en: https://www.clayss.org.ar/04_publicaciones/manual_docentes_LATAM.pdf
- De Sousa Santos, B. (2014). Epistemologías del sur (Perspectivas). España: Akal.
- Fuentes, A., (2002). Arquitectura Bioclimática.
- Geilfus, F. (2009). 80 Herramientas para el desarrollo participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo y evaluación. IICA: Costa Rica. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/4129#:~:text=80%20Herramientas%20para%20el%20desarrollo,participativo%3A%20diagn%C3%B3stico%2C%20planificaci%C3%B3n%2C%20monitoreo%20evaluaci%C3%B3n>
- Jaramillo, R. (2008). Resumen de los aprendizajes sobre incidencia ignaciana en América Latina.
- INEGI. (2010). Localidades de la República Mexicana (1:1) (ITER). Disponible en http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/iter_2010.aspx
- Instituto Elos (2010). Warriors Without Weapons. Disponible en: <https://institutoelos.org/>
- Martínez, A. (2022). Actualidad de la Pedagogía Ignaciana en la universidad. DIDAC 79: 2-9. https://doi.org/10.48102/didac.2022..79_ENE-JUN.95
- McLennan, J. (2004). The Philosophy of Sustainable Design: The Future of Architecture. ISBN: 978-0-9749033-0-9. EUA: Ecotone.
- Minakata, M.J. (2021). Trayectoria de Formación y Acción Social Universitaria (FASU): nuevo modelo de formación social en la Universidad Iberoamericana de la Ciudad de México. DIDAC 78: 118-124. https://doi.org/10.48102/didac.2021..77_ENE-JUN.57
- Monroe, A. & Verde, G. (2017). Arquitectura de emergencia y continuidad social. Eídos. Arquitectura y urbanismo. n. 10, p. 12-26 DOI: 10.29019/ei.v0i10.331 Disponible en: <https://revistas.ute.edu.ec/index.php/eidos/article/view/331>
- Morin, E. (1990). Introducción al pensamiento complejo. Barcelona: Gedisa.
- Ortíz, L. (2019) El proyecto de recuperación de la barranca Tepecuache en Santa Fe: 'Sin barrancas no hay ciudad'. Revista Mexicana de Análisis Político y Administración Pública, [S.L.], v. 8, n. 16, p. 87-102, ISSN 2007-4638. Disponible en: <http://www.remap.ugto.mx/index.php/remap/article/view/304>
- PNUD/Hivos. (2010). Teoría de Cambio. Un enfoque de pensamiento-acción para navegar en la complejidad de los procesos del cambio social. Guatemala. Disponible en: http://centroderecursos.cicbata.org/sites/default/files/Guia_Teoria_de_Cambio_PNUD-Hivos.pdf

- Ramos, J.M. & Vidal, R. (2016). ¿Cómo realizar la sistematización de la práctica educativa? Docencia e Investigación. n.26, p.53-77 ISSN 1133-9926. Disponible en: <https://rui.dera.uclm.es/xmlui/bitstream/handle/10578/18996/C%C3%B3mo%20realizar%20la%20sistematizaci%C3%B3n%20de%20la%20pr%C3%A1ctica%20educativa.pdf?sequence=1>
- Reed, B. (2009). The Integrative Design Guide to Green Building: Redefining the Practice of Sustainability. Estados Unidos: Wiley.
- Rosales, M. A., Rincón, F. J., & Millán, L. H. (2016). Relación entre Arquitectura - Ambiente y los principios de la Sustentabilidad. Multiciencias, 16(3),259-266. ISSN: 1317-2255. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90453464004>
- Seminario Interdisciplinario de Pedagogía Ignaciana. (2022). Reflexiones del Seminario Interdisciplinario de Pedagogía Ignaciana. DIDAC 79: 92-108. https://doi.org/10.48102/didac.2022..79_ENE-JUN.101
- UNESCO (1972). Convención del Patrimonio Mundial. Disponible en: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000133369_spa
- UNESCO (2012). Educación para el desarrollo sostenible. Francia. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000216756>
- UNICEF. (2014). Teoría de Cambio. Síntesis metodológicas. Italia. Disponible en: https://www.unicef-irc.org/publications/pdf/Brief%20Theory%20of%20Change_ES.pdf (unicef-irc.org)

Software en el diseño bioclimático

Oscar Uriel González Mejía¹

Héctor Valerdi Madrigal²

1 Alumno de la Maestría en Arquitectura Bioclimática de la División de Ciencias y Artes Para el Diseño. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

correo: osurgome@gmail.com

2 Profesor investigador de la División de Ciencias y Artes Para el Diseño, Departamento del Medio Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco.

correo: hvm@azc.uam.mx

Resumen

La implementación de herramientas de software ha facilitado el análisis climático y la definición de estrategias de diseño dentro del campo de la arquitectura bioclimática. A raíz de ello se ha desarrollado una inmensa variedad de programas destinados al análisis climático, la obtención de información y la propuesta de estrategias de diseño. Su uso ha logrado que la recopilación de datos confiables, vigentes y suficientes sea mucho más rápida, fácil de graficar, interpretar y simular. Actualmente se cuenta con programas que se pueden instalar en computadora, otros que se pueden correr en un servidor para ser consultados en páginas de internet y algunos más que se encuentran disponibles como aplicaciones para dispositivos móviles. Todos ellos conforman un universo de software que permite a los usuarios trabajar de manera ágil y rápida para llevar a cabo un análisis climático completo que abarca desde la radiación solar, la temperatura, la humedad, la precipitación, la nubosidad, dirección, calmas y velocidades de viento. Este análisis tiene como propósito respaldar el criterio de selección de estrategias de diseño de los usuarios.

El desarrollo de software presenta un panorama prometedor para la implementación de la arquitectura bioclimática en el espacio construido, debido a que facilita la comprensión de las condiciones climáticas del sitio y los requerimientos que necesita la arquitectura para adaptarse al mismo. La climatización de un espacio que cuenta con estrategias pasivas de diseño bioclimático presenta un menor costo y tiene un menor impacto en el medio ambiente a diferencia de los espacios que no cuentan con este tipo de estrategias. En este artículo se describen algunas herramientas de software, la plataforma a la que pertenecen y los beneficios de su uso dentro del campo de la arquitectura bioclimática.

Palabras clave: Software, bioclimática, arquitectura, climatización, interfaz.

Abstract

The implementation of software tools has facilitated climate analysis and the definition of design strategies within the field of bioclimatic architecture. As a result, an immense variety of programs have been developed for climate analysis, obtaining information and proposing design strategies. Its use has made the collection of reliable, current and sufficient data much faster, easier to graph, interpret and simulate. Currently there are programs that can be installed on a computer, others that can be run on a server to be consulted on Internet pages and some more that are available as applications for mobile devices. All of them make up a universe of software that allows users to work quickly and agilely to carry out a complete climate analysis that covers solar radiation, temperature, humidity, precipitation, cloudiness, direction, calms and speeds. of wind. This analysis is intended to support users' design strategy selection criteria.

Software development presents a promising outlook for the implementation of bioclimatic architecture in the built space, because it facilitates the understanding of the climatic conditions of the site and the requirements that the architecture needs to adapt to it. The air con-

ditioning of a space that has passive bioclimatic design strategies has a lower cost and has a lower impact on the environment unlike spaces that do not have this type of strategies. This article describes some software tools, the platform to which they belong and the benefits of their use within the field of bioclimatic architecture.

Keywords: Software, bioclimatic, architecture, air conditioning, interface.

Introducción

A lo largo de la historia, el hombre se ha adaptado a las diferentes condiciones climatológicas del planeta tierra por medio de la arquitectura y el arropamiento. La arquitectura nos ha brindado una infinidad de formas, logradas con materiales diversos y características propias que se adaptan a su entorno y a las necesidades de sus ocupantes. De manera simbiótica, la envolvente arquitectónica se ha convertido en un segundo arropamiento, capaz de brindar confort y refugio ante las inclemencias de la intemperie.

Sin embargo, no toda la arquitectura ha logrado una adaptación amigable con su entorno, siendo la industria de la construcción una de las más contaminantes y perjudiciales para el medio ambiente. Este problema da pie al desarrollo de una arquitectura sustentable capaz de integrarse en su entorno con un bajo impacto procurando la menor cantidad posible de emisiones de gases de efecto invernadero.

Encaminado en el desarrollo sustentable, este texto menciona de manera general las herramientas de software que se han empleado y se utilizan actualmente en el diseño bioclimático, particularmente aquellas relacionadas con el confort higrotérmico y el análisis climático, con la intención de dar a conocer su alcance y sus funciones.

El software utilizado en el campo abarca diferentes partes dentro del proceso que conlleva el diseño bioclimático. A grandes rasgos sirven para la obtención de datos climáticos, su ordenamiento, graficación, simulación e interpretación, con el objetivo de orientar el diseño arquitectónico hacia el confort de los usuarios y la reducción del impacto ambiental que conlleva su materialización.

Arquitectura Vernácula

Los primeros vestigios de arquitectura conocidos por la historia, se valían de los materiales de su entorno inmediato para edificar el espacio habitable, y tanto sus formas, los espesores de su envolvente como sus aberturas, demuestran una comprensión correcta del clima en el que se situaban. El estudio de lo que actualmente se denomina cómo, arquitectura vernácula, revela que fue diseñada con una noción correcta de adaptabilidad respecto a su entorno, logrando el confort de sus ocupantes y generando un impacto ambiental casi insignificante.

Esto demuestra que el análisis climático ha conformado una parte esencial para el diseño arquitectónico desde el inicio de la historia, algo imprescindible para nuestros antepasados,

que también formaba parte de las creencias culturales de muchas civilizaciones antiguas. Este conocimiento, incluso a nivel empírico, constituye la piedra angular para el diseño sustentable, desde los primeros asentamientos humanos, dando a la luz edificaciones capaces de brindar protección y confort a sus habitantes, aún en climas extremos e inhóspitos.

Uno de los mejores ejemplos de arquitectura vernácula adaptada su entorno es el iglú. Conformado por una estructura hemisférica que forma una cúpula, se construye con bloques de hielo entrelazados y compactados con nieve. Después de extraer cada uno de los bloques, queda un orificio en la superficie del suelo que se utiliza para la mitad inferior del refugio; de esta forma el iglú se construye en el mismo sitio de donde se toma la nieve para su estructura. El espesor de su envolvente genera un aislamiento térmico capaz de conservar la temperatura interior hasta 35 °C por encima de la temperatura exterior, con el uso de una pequeña lámpara de aceite y el propio calor humano (Manzanero. 2013).

Sabiendo que la arquitectura vernácula es capaz de lograr niveles de confort aceptables, con un bajo impacto ambiental, se vuelve aún más importante el estudio de su historia y de sus casos análogos, con la intención de conocer cómo solucionaban los problemas de habitabilidad las civilizaciones antiguas para cada uno de los climas en los que se albergaron. Queda la tarea de analizar las virtudes y las características de la arquitectura vernácula para aplicarlas al diseño arquitectónico contemporáneo, con miras de lograr condiciones de confort ideales al interior del espacio habitable, generando el mínimo impacto al medio ambiente. Esta es una tarea que se debe llevar a cabo aprovechando cada uno de los recursos tecnológicos actuales, con el respaldo de un sentido firme de protección de los recursos naturales.

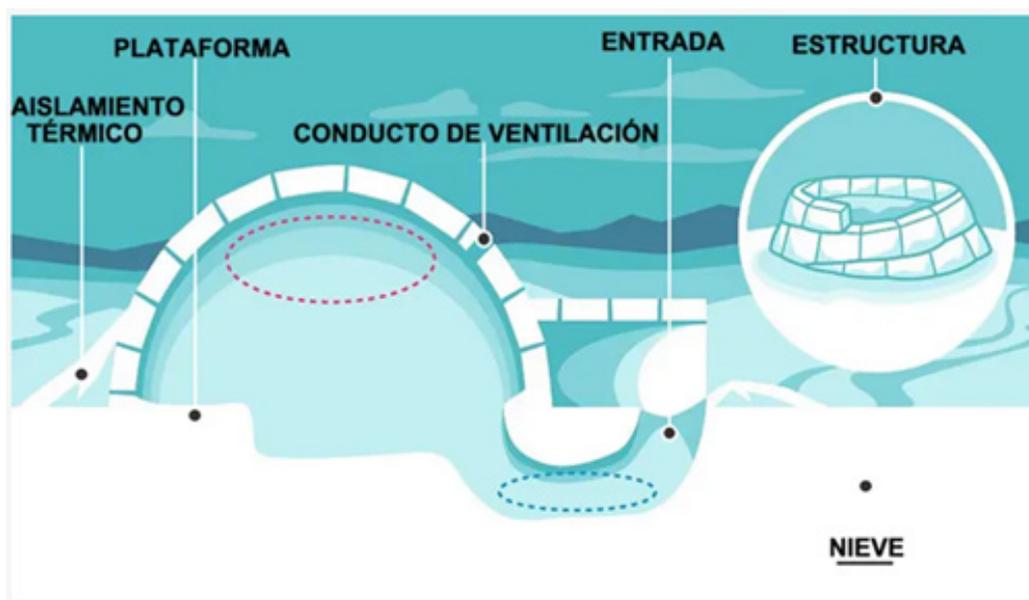


Figura1. Infografía de las partes de un Iglú.
Fuente: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50907318>

Antecedentes

Los métodos y herramientas de análisis climatológico conforman una variedad inmensa que abarca desde el primer reloj solar, los termómetros de mercurio, higrómetros y veletas, hasta los programas más avanzados de nuestros tiempos. El hombre se ha valido de una aguda observación de su entorno y su ingenio para dar vida a todos los instrumentos que le han permitido medir los fenómenos que lo rodean, incluyendo aquellos que impactan directamente en la percepción higrotérmica humana.

Al conocer los cambios meteorológicos que se suscitan en los distintos tipos de clima, el hombre ha podido adaptar la arquitectura de acuerdo a sus necesidades, llegando a desarrollar un campo de estudio tan complejo y basto como la arquitectura bioclimática.

A mediados del siglo XX, el término arquitectura bioclimática fue acuñado por el arquitecto Víctor Olgyay, en su libro de 1963 "Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas", en él se muestra la interpretación según principios arquitectónicos que anteceden al diseño y lo encaminan hacia el confort humano.

Los principios que enlista Olgyay cubren aspectos fundamentales cómo la elección del emplazamiento, considerando los efectos del microclima, el relieve topográfico, el entorno natural y el entorno construido.

Factores importantes como la orientación del sol y del aire, teniendo en cuenta las trayectorias de desplazamiento del primero durante los solsticios de verano e invierno, y los equinoccios de primavera y otoño.

El control solar, tomando en cuenta la estructura, la transmisión de calor y de radiación, los métodos de protección para las superficies acristaladas, los mecanismos protectores y los efectos de la sombra producida por los árboles y la vegetación.

El entorno y las formas edificatorias, la morfología en la naturaleza, el impacto de las fuerzas térmicas externas en la edificación y el criterio de la forma óptima.

Los efectos del viento y modelos de flujo, análisis y factores locales según la orientación, los elementos protectores del viento y modelos de flujo de aire al interior de los edificios.

Los efectos térmicos de los materiales, los materiales opacos y el equilibrio de la temperatura interior, la penetración del calor a través de las superficies, el efecto de la humedad, el deterioro de los materiales, su transmisión calorífica, capacidad de aislamiento, la inercia calorífica, su método de cálculo y el aislamiento equilibrado (Olgyay. 1963).

Los principios que menciona Olgyay se mantienen vigentes en el diseño bioclimático contemporáneo y son el reflejo de un estudio detallado de las condiciones climáticas que influyen a la arquitectura de manera inherente.

Objetivo

La arquitectura bioclimática tiene como prioridad, encaminar el diseño arquitectónico hacia el confort humano, procurando el mínimo impacto ambiental posible. Siendo así, la implementación de estrategias de diseño bioclimático en los edificios conforma una parte crucial en la planeación de un proyecto de carácter sustentable, favoreciendo significativamente a los usuarios y al entorno, tanto para las diferentes tipologías de la vivienda, cómo para las edificaciones de carácter comercial, y de equipamiento, entre otras.

El aprovechamiento de los factores pasivos como la selección de materiales y espesores adecuados en la envolvente, reducen significativamente el consumo de la energía eléctrica utilizada para climatizar los espacios interiores. Las diferentes condiciones climatológicas requieren el uso de materiales con propiedades térmicas distintas, por un lado, los climas extremos que presentan temperaturas con amplia oscilación requieren de alta masa térmica para conservar las condiciones de confort al interior de los espacios, mientras que, en los climas con baja oscilación, se puede utilizar un espesor menor para los elementos de la envolvente sin afectar el rango de temperaturas confortables dentro de la edificación.

Por otro lado, la selección de una orientación adecuada juega un papel sumamente importante en el confort higrotérmico dentro de las edificaciones, debido a que contribuye a lograr la temperatura operativa requerida, permitiendo o impidiendo el calentamiento por asoleamiento de los espacios habitados, dependiendo de las necesidades que exige el clima. Sin olvidar mencionar que la elección correcta de la orientación con respecto a los vientos dominantes favorece a una ventilación natural adecuada en aquellos climas que la permiten.

Los beneficios que ofrece la aplicación de estrategias de diseño bioclimático, ameritan que su implementación sea tomada en cuenta con un carácter prioritario dentro de los procesos del diseño arquitectónico, ya que permiten el aprovechamiento de las condiciones climatológicas en favor del confort humano y en contra de las afectaciones al medio ambiente.

Herramientas de análisis para el diseño sustentable

La implementación de software en el diseño bioclimático ha cobrado mayor importancia a medida que su evolución facilita el ordenamiento, graficación y simulación de datos para el desarrollo de un análisis climático correcto. En el contexto de la transición hacia los proyectos arquitectónicos de carácter sustentable, las herramientas de software ofrecen numerosas ventajas, especialmente en términos de acceso a la información. Al generar bases de datos de diferentes lugares del mundo y poner su consulta a disposición de los usuarios en un solo lugar, facilitan enormemente la tarea de recopilar los datos referentes a temperatura, humedad, radiación solar, precipitación, nubosidad, dirección, frecuencia y velocidad de viento, entre otros.

Actualmente esto puede parecer irrelevante debido a que se vive en una era de amplio acceso a la información, no obstante, muchas de las herramientas de software que se utilizan día

con día se encuentran en servidores a los que se puede acceder simplemente con tener conexión a internet en todo tipo de dispositivo, desde cualquier parte del mundo. En este sentido, el software utilizado dentro del campo de la arquitectura bioclimática pone al alcance de los usuarios una cantidad inmensa de información que en otros tiempos podía considerarse inaccesible. Tal es el caso de los datos que recopilan las diferentes estaciones climatológicas dispuesta alrededor del mundo, las cuales pueden ser consultadas en determinadas páginas de internet de libre acceso.

La consulta de datos por medio de software tiene la bondad de brindar a los usuarios más fuentes de información a considerar, con un alcance que incluso llega a nivel internacional. Al aprovechar estos beneficios, los usuarios pueden contar con un mayor respaldo en sus investigaciones, generando un análisis climatológico confiable apoyado por el trabajo de profesionistas especializados en el estudio del clima. De esta forma se crea una multidisciplina que combina la arquitectura y la climatología para integrar el espacio construido a su entorno de manera responsable.

El uso correcto del software en el diseño bioclimático

Muchas de las herramientas informáticas que se aplican de manera directa en el diseño bioclimático, se alimentan de la información climatológica del sitio que se desea estudiar. La credibilidad de los resultados depende inicialmente de los datos climatológicos obtenidos del sitio, el usuario debe cerciorarse de recopilar información congruente, de manera que corresponda con el tipo de clima que se estudia y con otros datos de referencia que lo respalden.

La información climática puede conseguirse a través de datos normalizados e interpolados. Los datos normalizados pueden obtenerse mediante la consulta de páginas de internet que cuentan con una base de datos que recopila la información capturada por las estaciones meteorológicas que monitorean distintas regiones de un país. Por otro lado, los datos interpolados se obtienen por medio de una estimación en relación con las bases de datos de los sitios aledaños al lugar que se desea analizar.

La vigencia de los datos también debe tomarse en cuenta ya que un estudio del clima debe considerar el comportamiento más reciente para tener un conocimiento realista del comportamiento de los fenómenos meteorológicos contemporáneos. Por último, se debe contar con datos suficientes ya que se promedian los datos de la mayor cantidad de años posibles para definir un comportamiento constante al cual adaptar el diseño arquitectónico. Tener presente estos parámetros garantiza que el resultado solicitado cuente con la calidad adecuada para respaldar un análisis climatológico certero y confiable.

Posteriormente se requiere de la capacidad y los conocimientos del usuario para interpretar correctamente los resultados obtenidos, los cuales se muestran gráficamente relacionando el dato medido con el periodo de tiempo de recopilación del mismo. Conociendo el comportamiento de factores como la humedad relativa y la temperatura en periodos de tiempo

mensuales se puede predecir el comportamiento de estos dos factores en el sitio a lo largo de las cuatro estaciones del año, permitiendo a quien diseña, proponer estrategias congruentes que doten de un carácter adaptativo a la arquitectura.

Actualmente, el software en el diseño bioclimático se utiliza en una gran cantidad de proyectos a nivel mundial, debido a que facilita la interpretación de la influencia que tienen los fenómenos meteorológicos sobre el confort humano y sobre las distintas formas arquitectónicas, su disposición espacial, aberturas y envolventes.

Tipos de software

Tanto los programas de computadora, cómo las hojas de cálculo, las distintas páginas de internet relacionadas y las aplicaciones móviles, cuentan con funciones especializadas enfocadas al manejo de datos que permiten al usuario definir estrategias y parámetros de confort higrotérmico adecuados a su proyecto.

A grandes rasgos podemos clasificar estas herramientas en 4 categorías; Las de diseño bioclimático, que permiten la visualización de datos climáticos, integrando algunas de ellas una propuesta de estrategias basada en los datos ingresados por el usuario.

Las de regulación de la radiación y la iluminación natural, que analizan estos dos factores que emanan de la energía del sol, considerando sus respectivas unidades de medida.

Las de análisis energético de los edificios, que simulan el desempeño térmico de un espacio previamente diseñado bajo condiciones climatológicas específicas.

Y por último las de estudios aerodinámicos y ventilación eficiente, que muestran el comportamiento del flujo de aire al interior de un edificio.

Al primer grupo de las herramientas de diseño bioclimático corresponden programas como; Meteonorm, WeatherTool y Climate Consultant, que permiten visualizar archivos de datos climáticos en una amplia gama de formatos, con rangos de tiempo que permiten la visualización horaria, diaria, mensual y anual de los datos, graficados en 2D y 3D.



Figura 2. Estaciones meteorológicas en Meteonorm
Fuente: <https://meteonorm.com/>

Software en el diseño bioclimático

Dentro de los programas de regulación de la radiación y la iluminación natural están algunos cómo; ECOTECT, ArchiWizard, Radiance, Daysim y DIALux, que analizan la incidencia de radiación solar sobre ventanas y superficies, calculan factores de luz natural y algunos de ellos iluminación artificial como DIALux, mostrando curvas fotométricas sobre las superficies de trabajo previamente definidas.

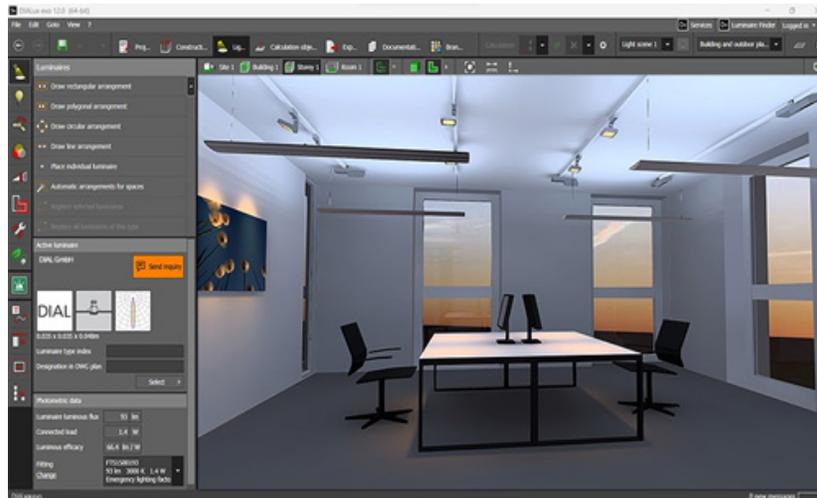


Figura 3. Modelo con luminarias en DIALux
Fuente: <https://www.dialux.com/es-ES/dialux>

Para el análisis energético de los edificios existen herramientas cómo; DesignBuilder, Open Studio y Therm, las cuales permiten al usuario modelar edificios y establecer las condiciones climatológicas bajo las cuales serán evaluados en su posterior simulación, en la cual se obtienen resultados de comportamiento térmico horario, diario y mensual. Como ejemplo de sus funciones cabe destacar que DesignBuilder puede utilizarse para las simulaciones de distintos tipos de instalaciones de climatización.

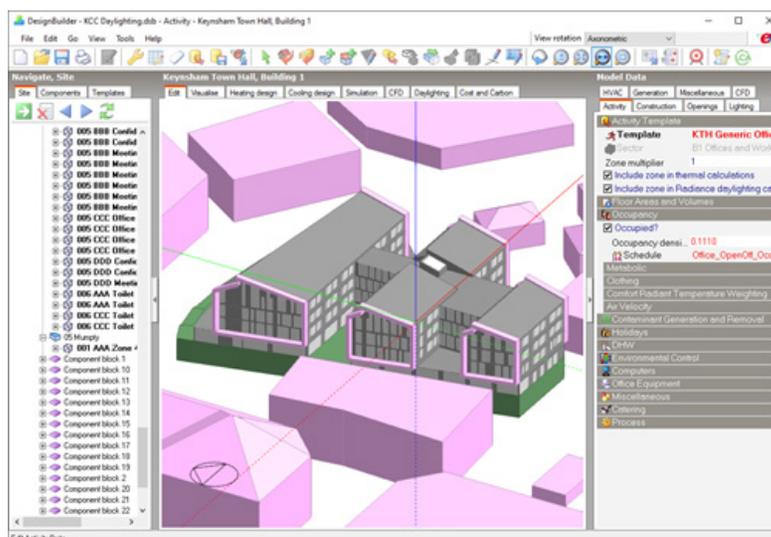


Figura 4. Ventana de modelado en DesignBuilder
Fuente: https://designbuilder.co.uk/helpv7.0/Content/_Program_options_General.htm

Para realizar estudios aerodinámicos y ventilación eficiente, se utilizan herramientas de software como; Cype, Phoenix, CFD y Flow Design, en donde se simula el flujo de aire al interior de espacios prediseñados importados desde programas de modelado tridimensional. Dentro de estos programas se configura la velocidad del viento y su dirección para evaluar el comportamiento de la ventilación en condiciones de flujo constante.

Dentro de sus respectivas categorías, los programas mencionados anteriormente, conforman una amplia variedad de herramientas de análisis cuyo uso conjunto permite una perspectiva amplia de las condiciones climáticas que rigen al sitio en que se proyecta y como estas mismas ejercen una influencia significativa en la toma de decisiones de diseño, para lo cual se requiere considerar cada factor por separado y la forma en la que se influyen mutuamente.

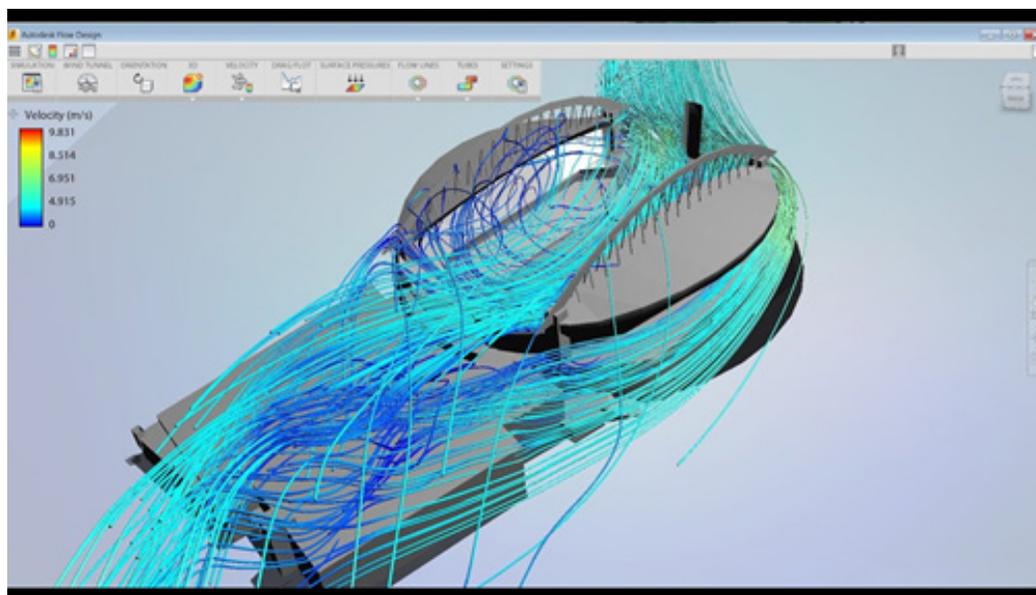


Figura 5. Simulación de viento en Flow Design

Fuente: <https://mcadcafe.com/video/Autodesk-Autodesk-Flow-Design-How-Model-Wind-Inside-Stadium/43091/media.html>

Herramientas recientes de software en el diseño bioclimático

El desarrollo de software para el análisis climatológico y el diseño bioclimático es actualmente un campo con diversos estudios que abarcan desde aplicaciones en sitios web capaces de proporcionar información climática de todo el mundo y sus condiciones deseables de confort, hasta simuladores interactivos que permiten al usuario agregar y quitar estrategias a un modelo preconfigurado.

Una de las herramientas de análisis de datos climáticos más reciente es CBE Clima Tool, la cual es una aplicación basada en la web creada para respaldar el análisis climático, diseñada específicamente para satisfacer las necesidades de los arquitectos e ingenieros interesados en el diseño adaptado al clima.

La herramienta CBE Clima permite a los usuarios analizar los datos climáticos de más de 27 500 ubicaciones en todo el mundo, tanto de Energy Plus como de Climate.One.Building.org. Sin embargo, también puede optar por cargar su propio archivo meteorológico. La herramienta se puede utilizar para analizar y visualizar datos contenidos en archivos EnergyPlus Weather (.epw). Además, calcula una serie de valores relacionados con el clima (es decir, azimut solar y altitud, índice climático térmico universal (UTCI), índices de confort, etc.) que no están contenidos en los archivos .epw pero que pueden derivarse de la información que contienen (Betti, G. 2021).

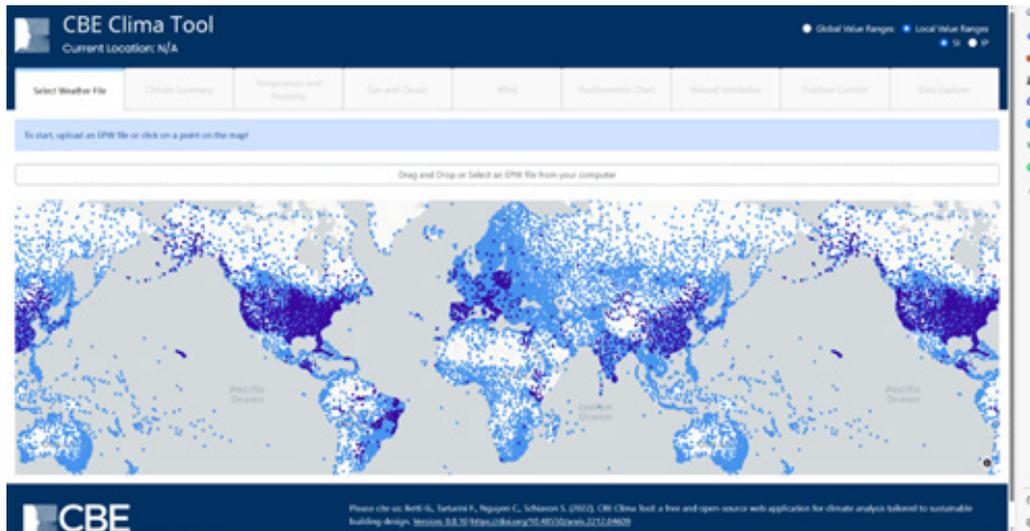


Figura 6. Selección de archivo de clima en CBE Clima Tool
Fuente: <https://clima.cbe.berkeley.edu/>

Por otro lado, existen herramientas de software como Climate Scout que ayuda a sus usuarios a diseñar edificios que responden de manera única a un sitio al proporcionar asesoramiento de diseño específico para el clima a escala de edificio. Para lograr esto, utiliza la clasificación climática Köppen-Geiger y las estrategias de diseño a escala de construcción de "Architecture 2030's Palette".

El sistema de clasificación climática de Köppen-Geiger mapea empíricamente las distribuciones de biomas en todo el mundo, organizando regiones por características de vegetación similares. Desarrollado a finales del siglo 19, y todavía ampliamente utilizado hoy en día para aplicaciones que deben considerar diferentes climas, como el modelado ecológico o las evaluaciones de impacto del cambio climático.

Cada grupo y subgrupo incluye diferentes patrones estacionales de precipitación y temperatura. A todos los climas se les asigna un grupo primario representado por la primera letra. Los climas, excepto los del grupo E, reciben un subgrupo de precipitación estacional (la segunda letra). Un subgrupo de temperatura, asignado para todos los grupos excepto A, indicado por la tercera letra para los climas en B, C y D, y la segunda letra para los climas en E.

27 estrategias a escala de construcción tomadas de la paleta 2030 se combinan con los 30 subtipos climáticos para determinar su aplicabilidad para cada uno de los climas del sistema Köppen-Geiger. A medida que el usuario elige estas estrategias seleccionadas, aparecen en tiempo real superpuestas en forma de diagrama, proporcionando una conexión visual inmediata entre el clima y la respuesta del edificio (La Roche, P. 2021).

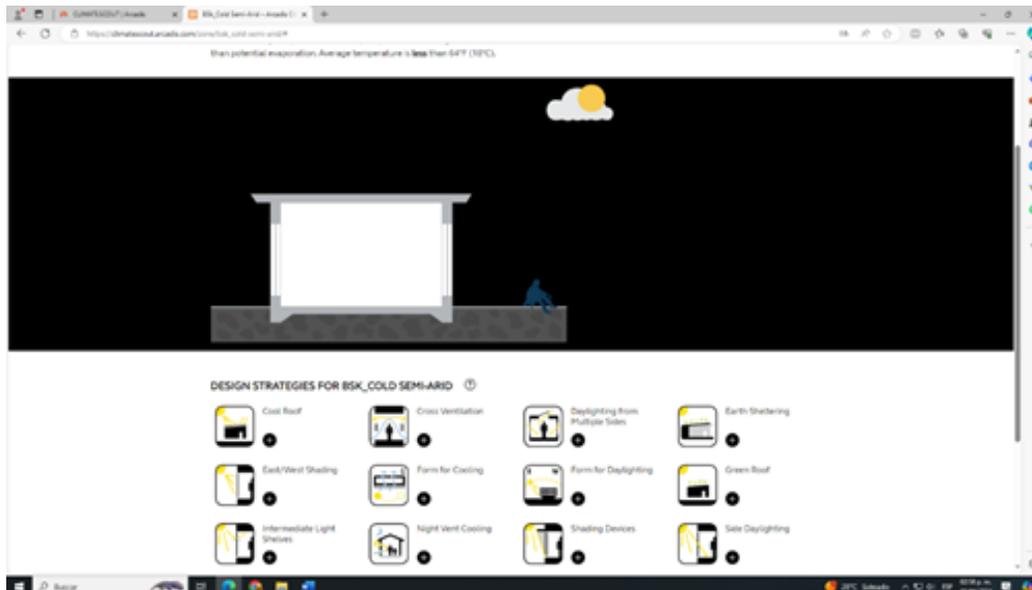


Figura 7. Esquema interactivo de estrategias de Climate Scout
Fuente: https://climatescout.arcadis.com/zone/cwb_subtropical-highland/#

Conclusiones

El constante desarrollo de nuevas herramientas de software es capaz de impulsar la implementación consciente de estrategias de diseño bioclimático en aquellos proyectos que buscan contar con un carácter sustentable.

El uso de nuevas herramientas informáticas para la planeación de una arquitectura adaptada al sitio, permite a los usuarios proyectar desde un enfoque más amplio tomando en cuenta una extensa variedad de factores que se pueden observar con mayor facilidad gracias al uso de software especializado. Los beneficios que brinda esta evolución tienen un alcance enorme que cada día permiten analizar y proponer más soluciones para la creación de una arquitectura sustentable ante el cambio climático.

Referencias

- Sostenibilidad. (2024). Retrieved from [arquitecturaysostenibilidad.com: https://arquitecturaysostenibilidad.com/profesionales/herramientas-informaticas/](https://arquitecturaysostenibilidad.com/profesionales/herramientas-informaticas/)
- Betti, G., Tartarini, F., Schiavon, S., Nguyen, C. (2021). CBE Clima Tool. Version 0.4.6. Center for the Built Environment, University of California Berkeley.
- Clima, cbe. (2023) Retrieved from [clima.cbe.berkeley.edu: https://clima.cbe.berkeley.edu/](https://clima.cbe.berkeley.edu/)
- Climatescout (2024) Retrieved from [climatescout.arcadis.com: https://climatescout.arcadis.com/zone/cwb_subtropical-highland/#](https://climatescout.arcadis.com/zone/cwb_subtropical-highland/#)
- Designbuilder (2024) Retrieved from [designbuilder.co.uk: https://designbuilder.co.uk/help/v7.0/Content/_Program_options_General.htm](https://designbuilder.co.uk/help/v7.0/Content/_Program_options_General.htm)
- Dialux (2024) Retrieved from [dialux.com: https://www.dialux.com/es-ES/dialux](https://www.dialux.com/es-ES/dialux)
- Ecoesmas (2013) Retrieved from [ecoemas.com: https://ecoemas.com/un-iglu-paradigma-de-arquitectura-sostenible/](https://ecoemas.com/un-iglu-paradigma-de-arquitectura-sostenible/)
- Meteonorm.com (2024) Retrieved from [meteonorm.com: https://meteonorm.com/](https://meteonorm.com/)
- Nevasport.com (2024) Retrieved from [nevasport.com: https://www.nevasport.com/reportajes/](https://www.nevasport.com/reportajes/)
- Olgay, V. (2004) *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Gustavo Gili

Restauración ambiental, social e histórica en el Río Chiquito de Tepetzotlán

Brenda Yazmín Juárez Guerrero¹,

Gloria María Castorena Espinosa²

1 Correo: byjg@azc.uam.mx

2 Correo: gmce@azc.uam.mx

Resumen:

El proyecto del “Parque Lineal Río Chiquito de Tepotzotlán”, incluye el diseño, la construcción y evaluación sensorial del afluente como unidad ambiental por su importancia hidrológica y su biodiversidad ante el cambio climático global.

La propuesta busca la recuperación del espacio para la actividad social, como encuentro para el deporte, la recreación, la contemplación y el turismo ecológico a través de un recorrido apropiado para la movilidad peatonal, la ciclística y a caballo como medios accesibles de comunicación entre la zona industrial, las escuelas y el centro histórico de la localidad como nodo del transporte público.

Asimismo, se considera la recuperación histórica del sitio, a través de la valoración del propio canal, trazado a mano en el tiempo y enmarcado por dos guardacantones del Puente Ferdinandos, localizados en la Avenida Insurgentes y el Río Chiquito de Tepotzotlán.

La parte final del documento presenta la información bioclimática y sensorial de los resultados de la intervención arquitectónica y paisajística, como comprobación del uso de la vegetación como control microclimático y los resultados de las medidas de mitigación implementadas ante la contaminación visual, acústica, lumínica y de calidad del aire.

Se difunde el proyecto como ejemplo de las acciones que se pueden realizar por el desarrollo sostenible local, actuando al mismo tiempo por el saneamiento global de nuestro planeta.

Palabras clave: Recuperación, ecosistema natural, arquitectura bioclimática, arquitectura del paisaje y sustentabilidad.

Abstract:

The project “Lineal Park Río Chiquito of Tepotzotlán” includes the design, constructions and sensorial evaluation of the tributary as an environmental unit, due to its hydrological importance and biodiversity in the face of global climate change. The proposal seeks to recover the space for social activity, as a meeting for sport, recreation, contemplation and ecological tourism through a route appropriate for pedestrian, cycling and horseback mobility as accessible means of communication between the industrial area, schools and the historic center of the town as a public transport node. Likewise, the historical recovery of the site is considered, through the assessment of the canal itself, drawn by hand over time and framed by two guardrails of the Ferdinandos Bridge, located on Avenida Insurgentes and the Río Chiquito de Tepotzotlán.

The final part of the document presents the bioclimatic and sensory information of the results of the architectural and landscape intervention, as verification of the use of vegetation as microclimatic control and the results of the mitigation measures implemented against visual, acoustic, light and, air quality.

The project is disseminated as an example of the actions that can be conducted for local sustainable development, while acting for the global sanitation of our planet.

Keywords: Recovery, natural ecosystem, bioclimatic architecture, landscape architecture and sustainability.

Introducción

Tepotzotlán se localiza a una distancia de 42 km del centro de la Ciudad de México con una vía de comunicación que es la autopista México Querétaro donde se puede observar el Museo Nacional del Virreinato en el Centro Histórico de la localidad. La municipalidad y el museo mismo se abastecieron del agua proveniente de los escurrimientos naturales, conducida por gravedad a través el acueducto denominado “Arcos del Sitio” y de las zanjas a cielo abierto. Parte de estas escorrentías se captaron con la construcción de la “Presa la Concepción” y otra parte se suman al caudal del “Río Hondo de Tepotzotlán” para cambiar su dirección a través del “Río Chiquito de Tepotzotlán” como desfogue para la prevención de inundaciones.

Contexto

La presión ante la urbanización en Tepotzotlán deriva de la fuerza del mercado por la conurbación a la CDMX y la accesibilidad a la Autopista México-Querétaro. El crecimiento urbano de las últimas décadas ha respetado en pocas ocasiones el sistema hidrológico natural que originalmente definió el asentamiento de los pueblos antiguos del municipio como Santiago Cuautlalpan, San Mateo Xoloc, Santa Cruz, Capula, San Martin Tlacateco y Texcacoa. Estos tres últimos hoy conforman la cabecera municipal.

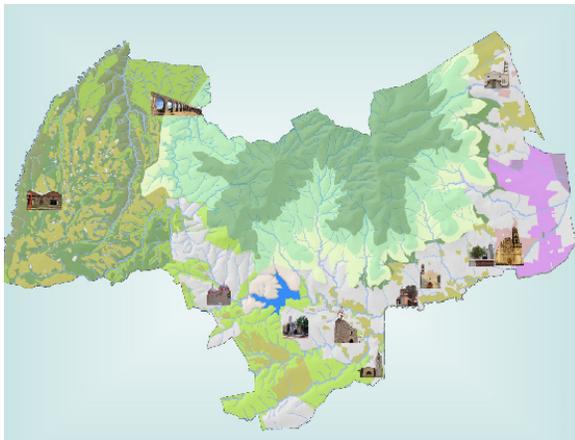


Ilustración 1. Mapa de Tepotzotlán, ubicación de los asentamientos originales.



Ilustración 2. Ubicación Río Chiquito (línea con flechas verde), Río Hondo (línea azul), Avenidas Insurgentes y Benito Juárez (líneas verdes punteadas), Centro de Tepotzotlán (Polígono verde) y Autopista México-Querétaro (línea punteada blanca).

Antecedentes

El Río Chiquito de Tepotzotlán es un canal que se alimenta del agua proveniente de la Presa de la Concepción que es donde se juntan las escorrentías pluviales que se conducen desde la época prehispánica por apantles y durante el virreinato hasta nuestros días a través de la Zanja Real que fungió como el sistema que por gravedad distribuía esta agua a todos los asentamientos antiguos, con un uso racional, responsable y consciente. El sistema permitía utilizar el agua que se necesitaba y la restante se dejaba correr, lo que alimentaba la recarga acuífera a lo largo del paso por el territorio hasta llegar al entonces Colegio de Tepotzotlán y de ahí a los solares y afluentes naturales como el Río Hondo y el Río Chiquito de Tepotzotlán.

Problemática actual

La principal problemática en la zona perimetral al río es que al cambiar los usos de suelo agrícola por un uso de suelo urbano, los usuarios dejaron de ocupar el agua de las escorrentías y el río se fue secando y en él se vertieron desechos líquidos y sólidos que contaminaron su entorno. La fauna local, al no encontrar agua limpia ni alimento, buscó otros sitios para habitar, así como las personas dejaron de caminar por sus bordos laterales, cambiando su función de retención a vialidad para autos, camiones y motocicletas, lo que generó la com-



Ilustración 3. Basura en Río Chiquito. Autora Natalia Figueroa.



Ilustración 4. Vehículos automotores transitando sobre el hombro de Río Chiquito. Autora Natalia Figueroa.



Ilustración 5. Plagas en la vegetación arbórea de Río Chiquito. Autora Natalia Figueroa.

pactación del suelo y el ambiente propicio para plagas en el arbolado existente.

Propuesta de diseño

El proyecto integró en el diseño la recuperación ambiental, social e histórico en un espacio que permitiera crear una infraestructura de movilidad peatonal que uniera a través de esta unidad ambiental las dos partes del municipio segmentado por la autopista interestatal México-Querétaro.



Ilustración 6. Tramos o secciones de intervención del Proyecto Parque Lineal Rio Chiquito

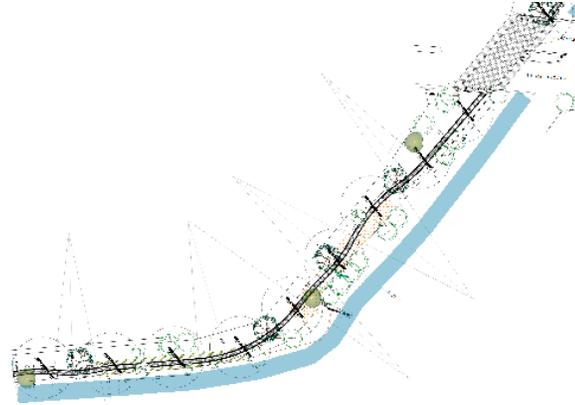


Ilustración 7. Tramo 1. Proyecto de Parque Lineal Rio Chiquito.

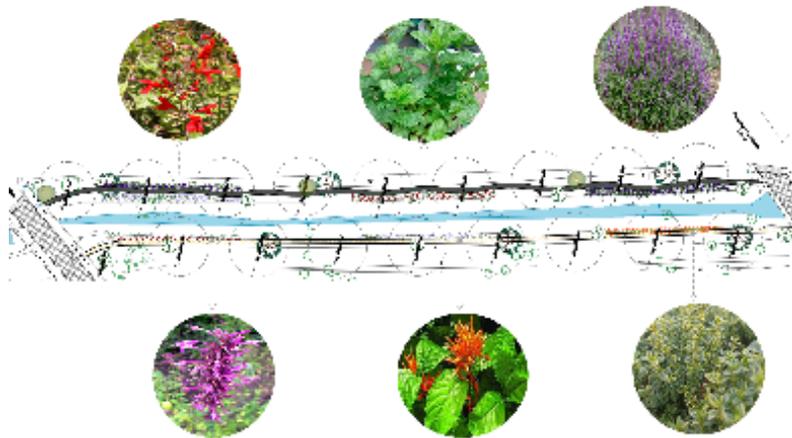


Ilustración 8. Vegetación propuesta en Proyecto de Parque Lineal Rio Chiquito.

Se propuso en el margen poniente del Río Chiquito de Tepetzotlán un andador peatonal, con vegetación baja en ambos costados y bajo la protección del arbolado existente, reforzado por árboles de frutos locales para reactivar la biodiversidad. En el margen poniente del río se generó una ciclovía, compartiendo el área para cabalgata y el paso de especies menores como borregos y vacas que aún pastorean en la zona.

La intervención histórica considera la restauración de los dos guardacantones del Puente Ferdinando situado en la Avenida Insurgentes, vialidad principal de acceso al Centro Histórico, así como la revaloración de un espacio que los habitantes tienen en la memoria del lugar.

Proyecto

La primera etapa del proyecto arquitectónico y paisajístico se integra por seis tramos en coincidencia y seguimiento del “Río Chiquito de Tepotzotlán”, segmentados por las vialidades existentes; desde la Autopista México-Querétaro, pasando por el Libramiento Norte (en la zona industrial), la Avenida Lic. Benito Juárez (segunda vialidad de acceso y salida al Centro Histórico), cruza la Avenida Insurgentes (vialidad principal de acceso al Centro Histórico), pasando por la Calle Tejocotes (zona habitacional del Barrio Texcacoa), en el cruce con el Libramiento Sur (zona industrial) para finalizar en el Puente Antiguo de los Jesuitas, que marca la entrada a la municipalidad desde el sur al Museo Nacional del Virreinato a través del Camino Real de Tierra Adentro (Catalogado por la UNESCO).



Ilustración 9. Trazo de andadores peatonales del proyecto.



Ilustración 10. Excavación y armado para el colado de las guarniciones del andador peatonal.



Ilustración 11. Andador peatonal terminado.

Las acciones desarrolladas del proyecto son: la movilidad universal, la iluminación fotovoltaica, mobiliario urbano para la contemplación y el descanso, la recuperación y reforestación arbórea, la educación ambiental a través de infografías y la señalética de movilidad.

Las acciones faltantes son los reductores de velocidad en las vialidades de entronque; la restauración y puesta en sitio de los guardacantones, las infografías históricas y el sistema de tratamiento de agua a través de vegetación.

Arquitectura del Paisaje

La plantación considera el uso de la vegetación nativa, por estar adaptada a las condiciones climáticas combinada con vegetación que se localizó en el entorno urbano, creando una suma de especies entre las cuales se encuentran el mirto, toronjil, muicle, yerbabuena, salvia y orégano; gran parte son especies polinizadoras, hierbas de olor y especies medicinales, con lo que regresamos a los orígenes de entender la importancia de las especies vegetales en nuestra vida cotidiana.

El andador de adoquín (forma cuadrada, piezas de 0.10 x 0.10 metros, color negro) se desarrolla en forma sinuosa extendiéndose a lo largo del bordo poniente del río, alargando el recorrido y creando en sus extremos las áreas de plantación, las de reforestación y los espacios destinados al descanso, la observación y el disfrute del medio natural.

Dentro de las especies arbóreas existentes se encuentran las del bosque de galería como son los fresnos, los sauces llorones, álamos y algunos frutales como los tejocotes, existiendo una gran variedad de árboles de diferentes especies como consecuencia de la reforestación por parte de la ciudadanía. Para el proyecto se seleccionaron especies donadas por el Vivero Municipal, colocando en los extremos colindantes con las vialidades principales, las especies ornamentales y al centro las frutales que aportan alimento a la fauna local.



Ilustración 12. Tramo Av. Lic. Benito Juárez a Libramiento Norte terminado.

:amento
io Ar

Ilustración 13. Plantación de especies nativas, flor de dalia y toronjil.

El diseño del paisaje considero los aspectos de iluminación cálida, alimentada por celdas fotovoltaicas y la colocación de cámaras de seguridad en los entronques peatonales con el arroyo vehicular.

La inclusión, la sustentabilidad, la seguridad y mitigación a los efectos negativos ante el cambio climático son los aspectos considerados en forma integral en el diseño y construcción del Parque Lineal Río Chiquito de Tepotzotlán.

El clima

El bioclima en Tepotzotlán es semifrío, con presencia de lluvias en verano, con una temperatura media anual de 14.9 °C y una oscilación anual de 17.1 °C y un viento dominante proveniente del norte-noreste. En esta condición atmosférica, el proyecto consideró la creación de zonas expuestas a la radiación solar directa y zonas matizadas por la fronda arbórea,

zonas de planta inducidas y zonas para el crecimiento estacional de especies nativas, abordando decisiones de diseño para restaurar la diversidad ambiental, recuperar los ambientes sonoros naturales, manejar las condiciones lumínicas y de color a través de la vegetación en consideración al clima de la cabecera municipal.

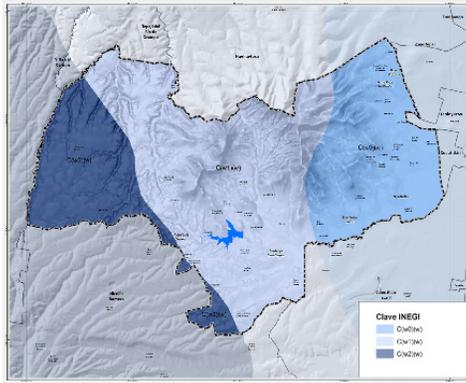


Ilustración 14. Mapa de Tepetztlán con la zonificación climática del municipio.

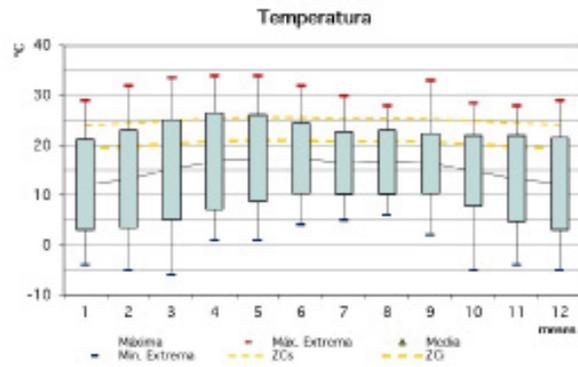


Ilustración 15. Gráfica de temperatura, síntesis de comportamiento anual, temperaturas máximas, mínimas y medias.

Educación ambiental

La educación tiene como resultado la apropiación, conservación y disfrute del espacio público. Para ello, se agregó una señalética gráfica con texto informativo sobre las especies animales que se localizan en el Río Chiquito, las cuales incluyen insectos, reptiles, aves y mamíferos como el Cacomixtle Norteño o el Tlacuache Norteño; así como especies vegetales locales, tales como Dalia, Mirto Cobalto, Girasol Morado, Tlacote y Trompetilla, entre otras. Estas infografías adentran al usuario a realizar un recorrido apreciando madrigueras, nidos, o la presencia misma de la vida, así como refiriendo la información en un sendero interpretativo para entender la importancia del ecosistema y la necesidad de respetar y cuidar el espacio.



Ilustración 16. Diseño de señalética informativa enfocada a especies de flora y fauna nativas.



Ilustración 17. Colocación de señalética informativa en el sitio.

Una movilidad segura para el peatón se controla a través de bolardos y rampas, pero sobre todo al agregar letreros con las indicaciones permisibles y prohibidas para la seguridad de la movilidad, las cuales priorizan al peatón y al paso de las especies animales que circundan y ocupan el lugar.

Anteriormente, este espacio estaba siendo destruido por vehículos motorizados, los cuales ahora quedan completamente restringidos de la zona.

Para lograr un entorno saludable aún se requiere trabajar implementando barreras visuales y barreras acústicas que filtren el sonido y el polvo de las vialidades principales.

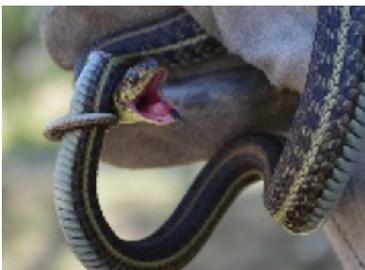


Ilustración 18. Culebrilla de río, especie acuática y terrestre, que habita en el Río Chiquito.



Ilustración 19. Azotador o chinahuarte, encontrado en los bordes del Río Chiquito.



Ilustración 20. Familia de pequeños chapulines encontrados en la vegetación del Río Chiquito.

Evaluación de las condiciones sensoriales

Una vez que el proyecto está concluido es importante hacer una evaluación de esta arquitectura de exteriores, sus resultados, la ocupación, vivencia de los espacios y sobre todo las condiciones ambientales creadas, sus beneficios y lo que se debe mejorar. Para ello, se monitoreó los tramos de Avenida Insurgentes a Avenida Lic. Benito Juárez y de Avenida Lic. Benito Juárez al Libramiento Norte.

Las variables climáticas y ambientales registradas fueron: la temperatura del aire, la temperatura de superficies (andador, masa arbórea, piso de tierra) al sol y a la sombra, la humedad relativa ambiental, la iluminancia en cielo despejado y bajo la fronda, los niveles sonoros ambientales y la calidad del aire por emisiones de CO2 y MP 2.5 y MP 10 (diámetro de partículas mayor a 10 unidades).

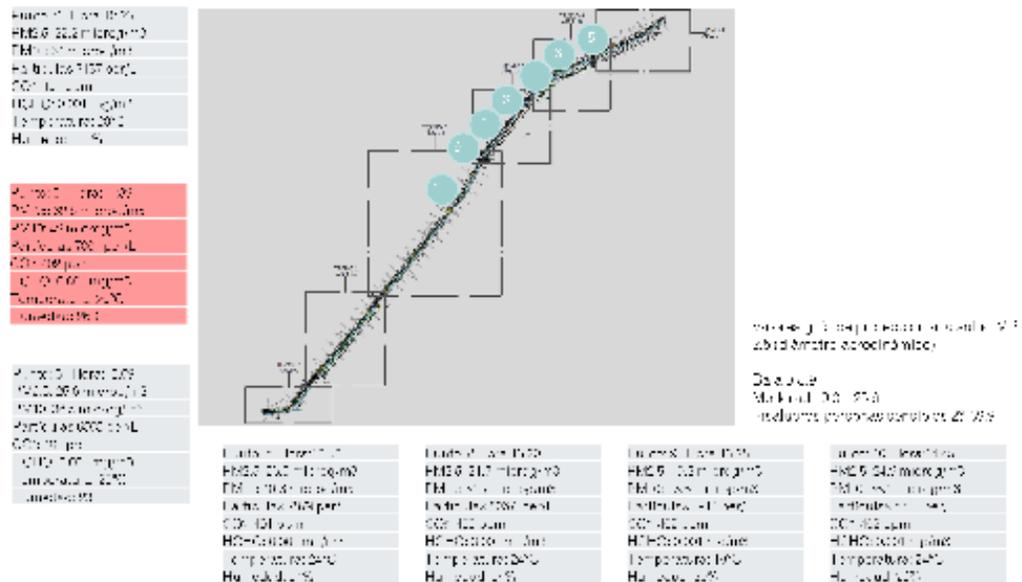


Ilustración 21. Levantamiento de condiciones de CO2, PM 2.5 y PM 10, temperatura y humedad en los tramos concluidos del Proyecto Parque Lineal Río Chiquito.

En la ilustración anterior, se localizan los puntos de exposición en donde se obtuvo la información de monitoreo climático y ambiental; mientras que en la tabla se muestran los resultados obtenidos en sitio.

En cuanto a la calidad del aire tomándolos como referencia de los valores guía de protección a la salud que establece la organización mundial de la salud (OMS), observado que en los puntos donde están los cruces de vialidades, siendo el Libramiento Norte que tiene un flujo de transporte de carga constante, en donde se presentan valores clasificados en el límite de riesgo por contaminantes por los compuestos químicos nocivos al hombre diluidos en el aire. Otros puntos donde hay presencia de masa vegetal, las partículas suspendidas y la calidad del aire reduce el nivel de contaminación ya que las especies vegetales funcionan como filtros naturales que retienen en sus hojas partículas de polvo, polen y contaminantes; como se observa en el punto cinco, colindante con el Libramiento Norte el valor PM 2.5 es

de 32.5 microg/m³ lo que determina condiciones insalubres para personas sensibles y un mayor riesgo a las enfermedades respiratorias y cardiacas según la OMS. Al mismo tiempo que realizan el intercambio químico de CO₂ por oxígeno durante el día.

La norma oficial mexicana la NOM172 de la SEMARNAT establece los parámetros o lineamientos de calidad del aire y si observamos nuevamente la tabla los registros están en el límite entre 48.8 y 49, en frontera de la clasificación de muy mala calidad del aire.

La temperatura radiante monitoreada y los gráficos térmicos, realizados a través de imágenes termográficas, muestran los valores numéricos comparativamente entre el piso de tierra cuando no tiene vegetación (sobrepasa los 35 °C) y el piso de tierra con plantas (19 °C), el piso de tierra sin vegetación 23 °C; podemos observar que el piso de tierra con vegetación anda sobre los 14 °C aproximadamente, y luego el piso de tierra sin vegetación se va hasta los 24 °C en este caso de un piso de tierra con un cubresuelo y/o con planta, reduce la temperatura de 16 a 18 unidades.

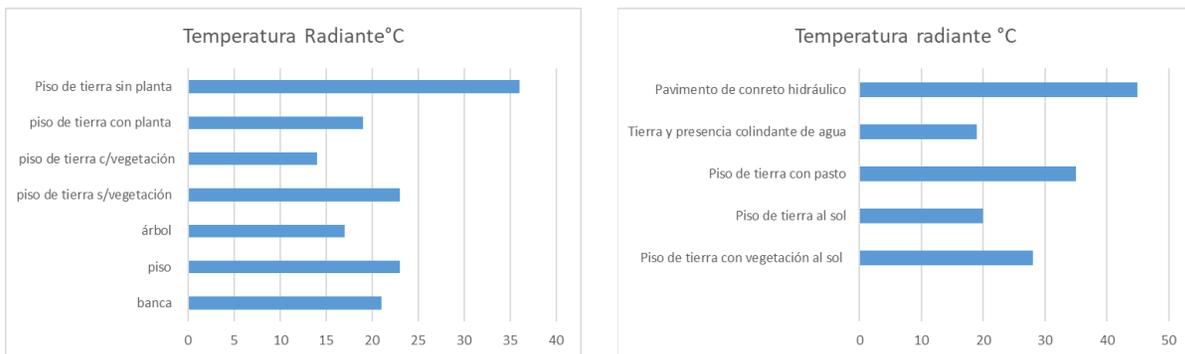


Ilustración 22. Gráficas de temperatura radiante tomadas en los tramos concluidos del Proyecto Parque Lineal Río Chiquito.

Estos valores demuestran el beneficio que aporta la vegetación de baja escala a las sensaciones térmicas, considerando que el propio pavimento sobre el que caminamos irradia calor; por ejemplo, en el caso de las dos avenidas que limitan el área de estudio, el material utilizado es un concreto hidráulico y los valores registrados presentan una temperatura mayor a los 43 °C mientras el pavimento es de tierra, únicamente por estar en colindancia al cuerpo de agua del Río Chiquito de Tepotzotlán con un caudal de 15 cm de ancho y 5 cm de profundidad. La temperatura se reduce a 18 °C en el piso de tierra y cuando este presenta un cubresuelo como es el pasto silvestre, la temperatura registra 35 °C; mientras que el piso de tierra al sol con vegetación media (planta) registra 28 °C, lo cual muestra una notable disminución en la temperatura radiante media.

En conclusión, un pavimento de concreto hidráulico en comparación con un piso de tierra con pasto, tiene una diferencia de 10 unidades y un pavimento de concreto hidráulico simplemente con que esté colindante con un piso de tierra y tenga la presencia de agua puede tener una diferencia de 26 unidades lo que determina la importancia y el beneficio térmico que la vegetación aporta ante el incremento global a la temperatura.

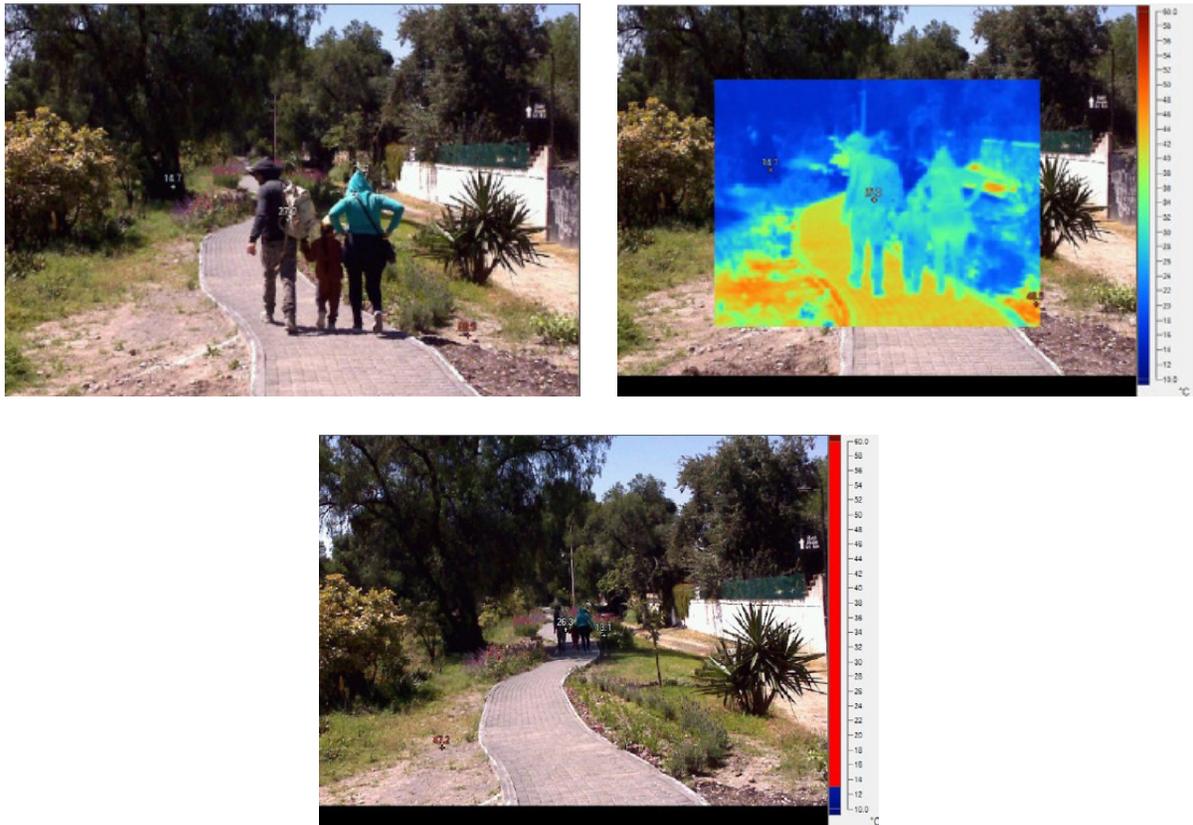


Ilustración 23. Imágenes termográficas tomadas en el sitio, en relación con los elementos del proyecto, la vegetación y lo usuarios.

Las imágenes termográficas determinan en escala de color la temperatura radiante del espacio; a la derecha de la imagen se localiza la escala de color en grados centígrados, siendo el foco de la imagen obtenida el punto central.

Se seleccionó una fotografía con usuarios, al sol y a la sombra, con el mismo andador de color negro, la presencia de tierra en el pavimento y vegetación baja, arbustiva y arbórea.

Comparativamente, el andador y la tierra tiene la mayor temperatura sobre 44 °C

Al sol, la vegetación baja localizada a la derecha de la imagen presenta una temperatura radiante de 24 °C y la vegetación arbustiva de la izquierda de la imagen una temperatura aproximada de 18 °C mientras que la temperatura de los árboles presenta un valor de 14 °C de temperatura radiante instantánea.

Los usuarios con arropamiento de 3 clo realizan una actividad metabólica de 1.3 MET al caminar lentamente en horizontal, emitiendo teóricamente 110 W/m². Al sol la temperatura de registro de las personas es de 27.2 °C según la imagen de la termografía, mientras que las mismas personas a la sombra registran una temperatura radiante de 26.3 °C una diferencia de 0.9 °C; mientras que la del pavimento al sol es de 50.3 y a la sombra el mismo material presenta una temperatura radiante de 27.8 °C por las propiedades térmicas del material.

Restauración ambiental, social e histórica en el Río Chiquito de Tepetzotlán

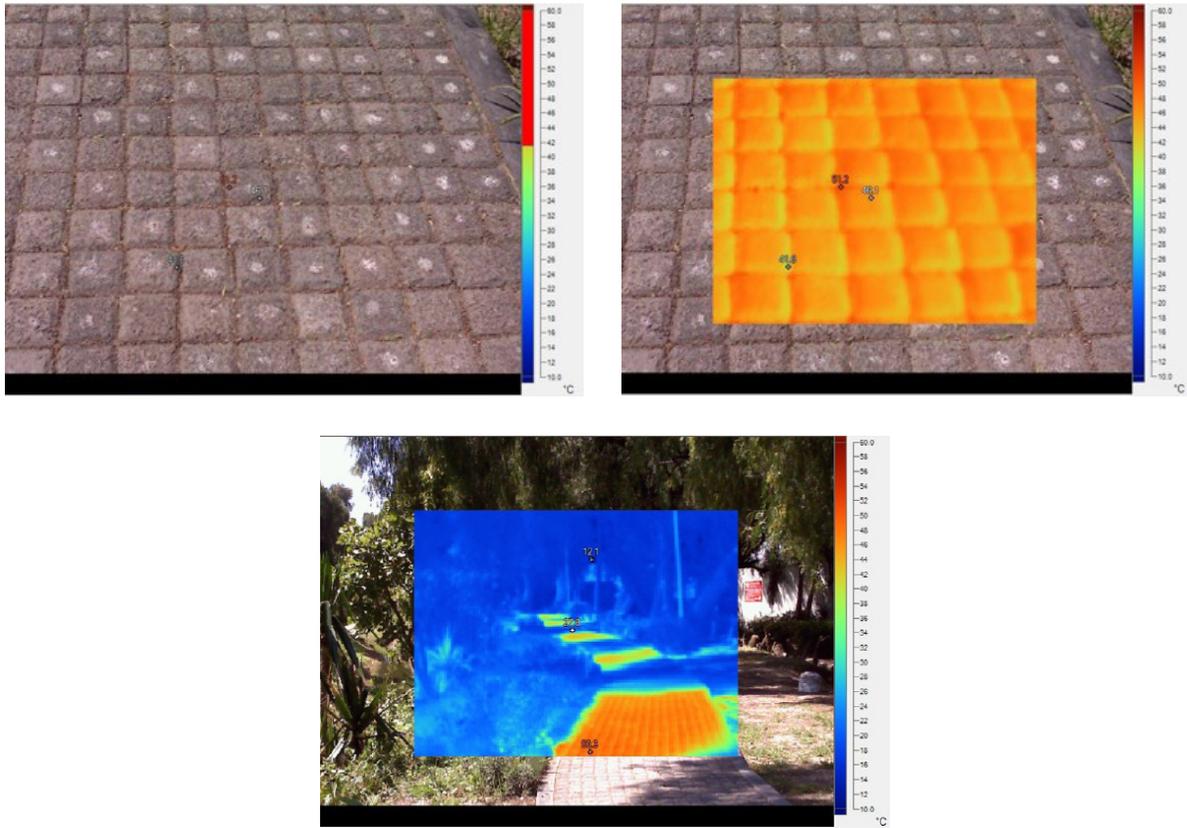


Ilustración 24. Imágenes termográficas tomadas en el sitio, en relación con el material colocado en el andador peatonal.

Según la OMS, una persona no debe estar expuesta a más de 70 decibeles, ya que la exposición prolongada a niveles elevados de sonido puede generar lesiones y dañar temporal o permanentemente al oído humano. La NOM-081-SEMARNAT-1994 señala que, para zonas residenciales, de 6:00 a 22:00 horas el máximo permitido es de 55 dB, y de 22:00 a 06:00 horas, de 50 dB; en los mismos horarios para zonas industriales se permiten hasta 68 y 65 dB. En el caso del Río Chiquito los principales usos de la zona son espacios habitacionales, comerciales e industriales por lo que se realizó un monitoreo sonoro en los puntos de evaluación, los sitios donde mayor incremento sonoro se detectó fue en los puntos 2 y 5, lugares colindantes con las avenidas en donde transita transporte pesado, principalmente Libramiento Norte, en donde el nivel de sonido se elevaba por encima de los 70 dB, por el contrario, al interior de los tramos de intervención, los decibeles sonoros descendían y permitía escuchar el canto o trino de las aves.

Conclusiones

Ha sido complicado llevar a cabo la idea de recuperar el espacio para toda la gente, cuidar el espacio común, y la importancia de incluir a otras especies para enriquecer y alimentar la biodiversidad; tenemos que trabajar más en esa conciencia social y ambiental que permita crear los cambios que regeneren nuestros espacios de vida. Hoy tenemos que recuperar los cuerpos de agua para permitir la recarga acuífera, para controlar la humedad del ambiente, para compartir con otras formas de vida este vital líquido de manera libre, limpia y accesible. Debemos controlar la temperatura de nuestro planeta con acciones de reforestación y reverdecimiento, porque son estos seres vivos del mundo vegetal los que ofrecen un porcentaje importante del oxígeno que demandamos los seres anaeróbicos y porque son ellos el alimento y el hogar imprescindible de los ecosistemas. ¿A quién no le agrada caminar a la sombra de los árboles, oler las flores, ver las mariposas volar y escuchar el canto de las aves?

Este es solo un proyecto de los muchos que podemos diseñar, construir y en los cuales podemos participar por un cambio en nuestra comunidad, no permitas que tus cauces sean drenajes, recuerda que los ríos son las venas que siguen el camino del agua, que es la sangre de la tierra y que por ello se debe cuidarlos; pero al mismo tiempo pueden ser el camino compartido entre el hombre y otras especies en este planeta.

Bibliografía

- García, R y Fuentes, V (1995). *Arquitectura y Medio Ambiente en la Ciudad de México*. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Ciudad de México.
- Salvador, P.J (2003). *Planificación verde en las Ciudades*. Ed. Gustavo Gil, ed 11. Barcelona.
- Steinitz, et. al. (2010). *Futuros Alternativos para Tepetzotlán*. Ed. Sans Serif Editores, Ciudad de México.
- Steinitz, Carl (2012). *Geodiseño. Métodos de Planificación Integral del Territorio*. (A. Muñoz-Cirado, Trad.) Ed. Esri Press. Estados Unidos de América.
- Figueroa, A y Fuentes, V (2021). *Arquitectura Bioclimática y Geodiseño nuevos paradigmas*. Universidad Autónoma Metropolitana. Ciudad de México.
- Castorena, G y Juárez, B (2023). *Arquitectura bioclimática y sustentabilidad a partir de acciones locales para obtener resultados globales*. En Castorena, G. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, volumen XVIII, Universidad Autónoma Metropolitana, pp 224-245.
- Flntikakis, N et al. (2011). Artículo. *Bioclimatic design of open spaces in the historic center of Tirana, Albania*. *Sustainable Cities and Society*. Elsevier. [Internet]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/251721867_Bioclimatic_design_of_open_public_spaces_in_the_historic_centre_of_Tirana_Albania
- Del Castillo, M, y Castillo, C (2014). *Aproximación bioclimática para el diseño de espacios públicos, análisis inicial en distintas plazas chilenas*. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXV(3),69-82. [internet]. ISSN: 0258-591X. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376834397006>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). *Es Día Mundial de la Descontaminación Acústica*. [Internet]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/ssshhh-es-dia-mundial-de-la-descontaminacion-acustica?idiom=es#:~:text=La%20OMS%20considera%20que%20los,es%20peligroso%20y%20posiblemente%20genere>
- Alvarado, A. et al. (2017). *Habitabilidad urbana en el espacio público, el caso del centro histórico de Toluca, Estado de México*. *Sociedad y ambiente*, (13), 129-169. [Internet]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-65762017000100129&lng=es&tlng=es

Normas

- NOM-081-SEMARNAT-1994. Que establece los límites máximos permisibles de emisión de ruido de las fuentes fijas y su método de medición.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-172-SEMARNAT-2023. Lineamientos para la obtención y comunicación del índice de calidad del aire y riesgos a la salud.

Conceptos ambientales y de confort en la arquitectura de Luis Barragán

Aníbal Figueroa Castrejón¹

¹ Universidad Autónoma Metropolitana, CYAD Azcapotzalco
Departamento de Medio Ambiente, Laboratorio de Arquitectura Bioclimática.

Antecedentes

Las obras arquitectónicas del arquitecto Luis Barragán, han sido ampliamente estudiadas por sus características estéticas y artísticas. Sin embargo, el origen de la arquitectura de Luis Barragán es un análisis cuidadoso de las condiciones de confort o comodidad locales y cómo conseguir las a través del conocimiento del lugar y la reinterpretación de diferentes elementos arquitectónicos tradicionales.

“Las lecciones que se pueden aprender de la modesta arquitectura de las aldeas y pueblos provinciales de mi país han sido una fuente constante de inspiración. Como, por ejemplo, las paredes blanqueadas de cal; la alegría y el embrujo de paz de los patios y huertas; del colorido de las casas; la humilde majestuosidad de las plazas de pueblo rodeadas de sombreados pórticos; de los acueductos, abrevaderos y trojes.” (Luis Barragán, 1980)



Imagen 1. Casa tradicional en Valle de Bravo (Fotografía Aníbal Figueroa)

Este proceso de observación, análisis, aplicación y evaluación se llevó a cabo durante un largo periodo: desde 1927 con las primeras obras construidas en Guadalajara en su juventud, alcanzando sus obras maduras que inician en la década de 1940 con el diseño de casas muestra para el Fraccionamiento Jardines del Pedregal de San Ángel, su segunda casa en Tacubaya y la casa Prieto López hasta sus últimas construcciones con la Casa Gilardi (1978) y la Casa Mayer (1980).

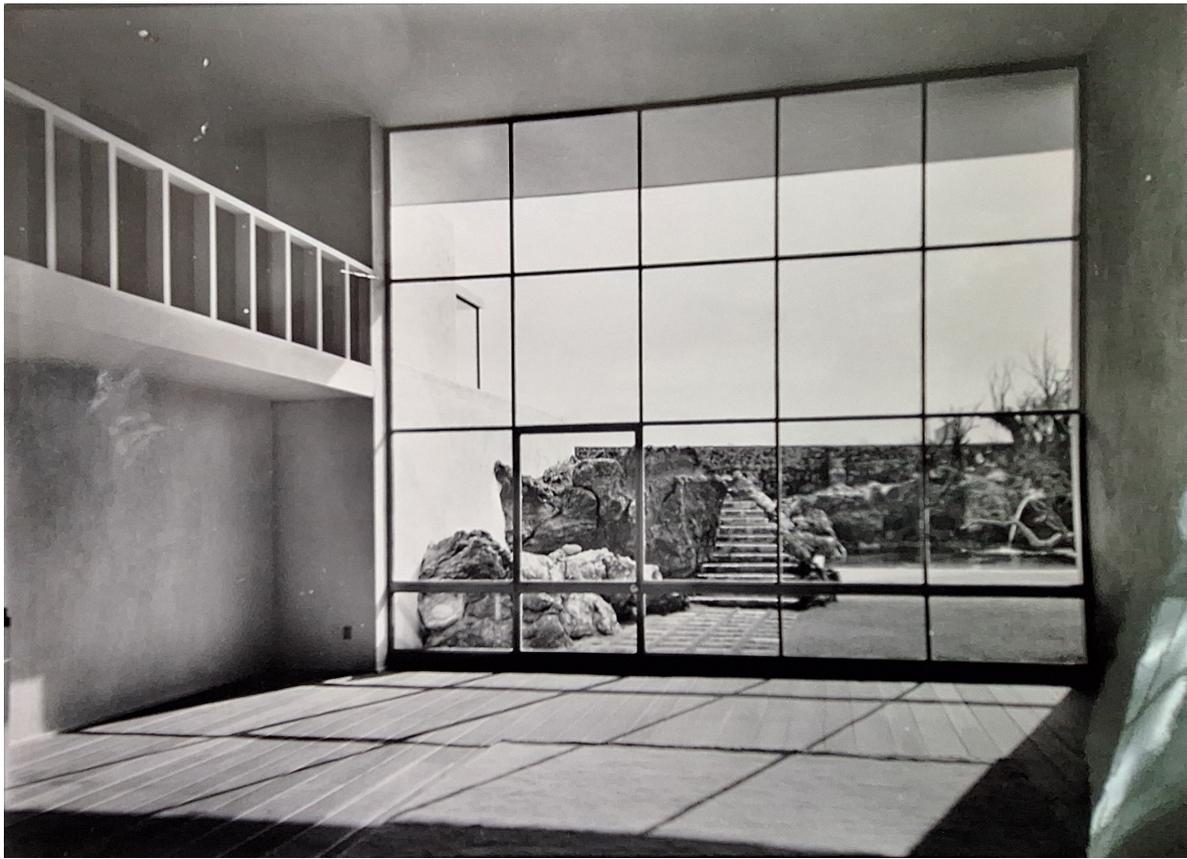


Imagen 2. Luis Barragán en colaboración con Max Cetto, Casa en Avenida de las Fuentes, Fraccionamiento Jardines del Pedregal de San Ángel, 1942 (Fotografía Armando Salas Portugal, 8)

La era de las máquinas

Una de las preocupaciones constantes de Luis Barragán fue la vinculación de la naturaleza con los espacios construidos, mucho antes de que los términos ecológico, ambiental o sustentable entraran en nuestro vocabulario cotidiano. Esto se observa claramente en una entrevista de 1967:

Antes de la era de las máquinas, incluso en el centro de las ciudades, la naturaleza era la compañera en la que todos confiaban: socia del panadero, del herrero, del carpintero... (Luis Barragán, 1967, 9)

Barragán identifica a la “era de las máquinas” como el principal generador del conflicto y disociación entre el hombre y la naturaleza. Asimismo, adquiere una postura crítica respecto a las ciudades modernas que buscan desvincularse cada vez más de su medio ambiente. De manera nostálgica enfatiza cómo, hasta hace pocos años, la relación de las personas con la naturaleza era directa y de mutuo beneficio.



Imagen 3. Ciudad de México, 2024. (Fotografía Aníbal Figueroa)

Las máquinas a las que hace referencia son la industria con productos mecanizados, idénticos e impersonales. Su resultado en la arquitectura ha sido un cambio radical en los materiales y los procedimientos constructivos. En la mayoría de los casos, estos han sustituido a los procesos artesanales, donde una persona transforma directamente elementos naturales apenas procesados, en objetos únicos con valor utilitario, pero también artístico, cultural y personal.

El automóvil

Barragán también identifica con claridad al automóvil como otro actor decisivo de la “era de las máquinas”. Evoca, con nostalgia, cómo eran nuestras ciudades y pueblos antes de la llegada de los automóviles.

Hoy en día la situación se ha invertido, el hombre ya no se encuentra con la naturaleza incluso cuando deja la ciudad para comulgar con ella. Encerrado en su brillante automóvil es dentro de la naturaleza un cuerpo extraño. (Luis Barragán, 1967, 9)

Durante la primera mitad del siglo XX, los automóviles, y en general los vehículos motorizados, pasaron de ser un objeto de lujo al principal protagonista de las ciudades modernas. El primer automóvil se vendió en México en 1895 y actualmente están registrados 58.2 millones de vehículos. El número de automóviles en los últimos 40 años ha aumentado ocho veces. Nuestras ciudades ahora pertenecen a los automóviles.

Total nacional de vehículos

Vehículos de motor registrados en circulación

58,199,293

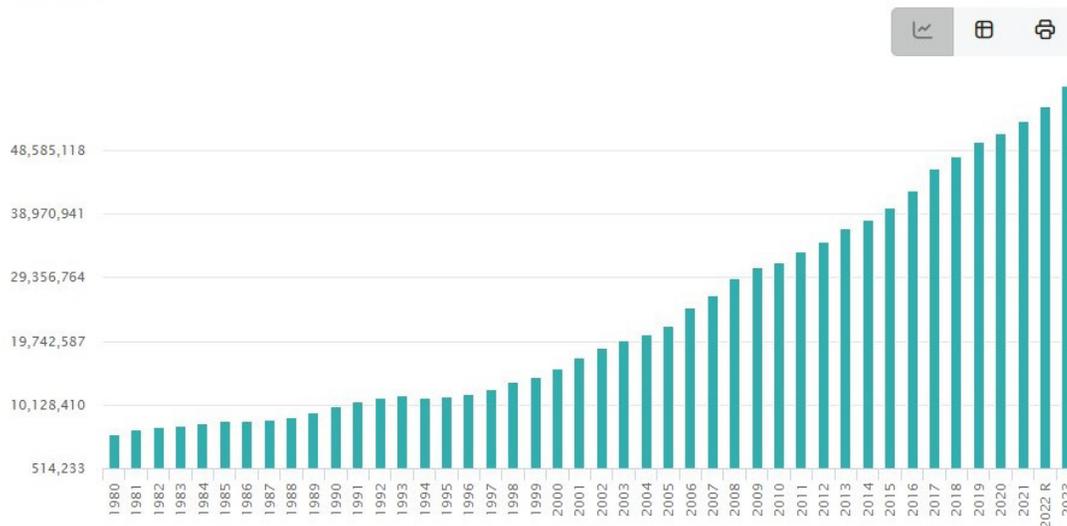


Imagen 4. Total Nacional de Vehículos de Motor (México)
Fuente: INEGI, Vehículos Registrados en Circulación, 2024.

Barragán asocia la desvinculación de la vida cotidiana con el medio natural por la presencia de máquinas, pero particularmente por la presencia del automóvil que ha transformado completamente nuestras sociedades, la manera en la que vivimos y no solamente la forma en la que nos transportamos. Hace énfasis en que los automóviles son cuerpos extraños que irrumpen y disrumpen el balance natural de los lugares, reconociendo que les hemos dado un papel protagónico y esto ha tenido como consecuencia aislarnos totalmente de la naturaleza.

Relación Hombre-Naturaleza

El tema de la relación del hombre con la naturaleza a través de la arquitectura fue considerado por Barragán desde sus primeras obras. Barragán enfatiza, al regresar de su primer viaje a Europa, que existen grandes similitudes entre los climas mediterráneos y México, por lo que muchos de los materiales, sistemas constructivos y elementos arquitectónicos que se han utilizado tradicionalmente en esas latitudes corresponden directamente a los elementos de la arquitectura regional del Altiplano Mexicano. En ellos se sintetiza una experiencia de siglos en la adaptación al clima y el desarrollo de soluciones arquitectónicas idóneas para este.

...y como hay una profunda liga histórica entre estas enseñanzas y aquellas de África del Norte y las villas marroquíes, ellas también han enriquecido mi percepción de belleza en la simplicidad arquitectónica. (Luis Barragán, 1980, 1)

En lugar de la visión euro-centrista dominante en la cultura occidental, Barragán es uno de los pocos arquitectos contemporáneos que ha reconocido el valor arquitectónico de la arquitectura popular del norte de África, de México y del Mediterráneo para resolver los problemas contemporáneos.



Imagen 5. Casbah Tarouit en Oarzazate Marruecos. (Fotografía Aníbal Figueroa)

Es por ello que, desde sus primeras viviendas construidas en Guadalajara en la década de 1920 emplea patios, jardines, terrazas, pórticos y pérgolas que permiten realizar actividades en espacios abiertos o semiabiertos, y tener contacto con ellos desde casi cualquier lugar de la casa.

Desafortunadamente en la arquitectura contemporánea, tanto de México como a nivel internacional, los edificios son prácticamente iguales para cualquier clima y cualquier cultura, y al ser acondicionados artificialmente están completamente desvinculados del medio natural.

La naturaleza se vuelve entonces un fragmento de naturaleza y el hombre un fragmento de hombre. El prometido diálogo entre el hombre y la naturaleza se convierte en un histórico, monótono, monólogo humano. (Luis Barragán, 1967, 9)

Los elementos tradicionales de la arquitectura regional en México son muy variados, tanto como los climas y la topografía del país, pero desde hace muchos años se ha asociado a este tipo de arquitectura y a sus materiales con la nostalgia, el atraso y la pobreza.

Una vez que se ha roto el diálogo con el clima, el sol, las plantas, los animales y el entorno, la naturaleza queda reducida a solo una pequeña parte y eso también disminuye la comodidad y calidad de vida de sus habitantes.



Imagen 6. Parque Urbano “La Mexicana” y edificios de departamentos contemporáneos en Santa Fe. (Fotografía Aníbal Figueroa)

Arquitectura sin techos

Los espacios abiertos: jardines, terrazas, plazas, patios y azoteas son un componente fundamental de los proyectos de Barragán. No se trata de un complemento decorativo, sino de un elemento central alrededor del cual se organizan muchas actividades. Con ellos recuperan las actividades al aire libre o en espacios semiabiertos que son una de las características más importantes de la arquitectura tradicional en México, y otras partes del mundo. Es posible emplear estos espacios casi todo el año debido al clima templado del altiplano mexicano en ciudades como Guadalajara y México.

Los jardines abiertos son pasados a ochenta kilómetros por hora, apenas si son vistos por los viajeros. No se usan como deben ser usados: lugares de estar, para sentarse, para comer; sitios de reunión para las personas que viven en la casa. (Luis Barragán, 1967, 9)

En la arquitectura contemporánea casi ha desaparecido el uso de espacios abiertos. De algún modo Barragán redescubre el placer y la comodidad de realizar actividades al aire libre en espacios privados que incluyan vegetación y fuentes. Es decir, un regreso a la naturaleza controlada que crea ambientes habitables entre el jardín y la casa.

Todas las casas de Luis Barragán tienen algún tipo de jardín: desde los primeros y modestos ejemplos de su arquitectura en Guadalajara, donde pequeños pórticos o techos funcionan como vestíbulo y zona de estar, hasta los magníficos jardines de la casa Prieto López, la casa Gálvez o su propia casa en Tacubaya. Otro ejemplo extraordinario es el patio-jardín con un solo árbol de la casa Gilardi.



Imagen 7. Luis Barragán, Casa González Luna 1929, Guadalajara.
Fotografía Natalia Figueroa

El redescubrimiento del uso de los espacios exteriores es una aportación muy importante de Luis Barragán porque aumenta el espacio útil de la vivienda a través de pavimentos, muros o vegetación que aprovechan condiciones climáticas muy favorables. Estos espacios permiten colocarse al sol cuando el clima está frío o sentarse a la sombra a comer, platicar o descansar en las tardes calurosas. El concepto ambiental es muy simple, pero es precisamente Barragán quien lo integra de manera brillante en sus proyectos más célebres.

Adaptación al Clima

Con las evidentes consecuencias del cambio climático, empezamos a percatarnos que una de sus causas es la forma en la que construimos y usamos las ciudades y los edificios. Cada vez nos alejamos más de las construcciones tradicionales que están estrechamente relacionadas con el clima y lugar donde se encuentran, y que aplican estrategias de diseño empíricamente desarrolladas a lo largo de siglos de experiencia.

Barragán se dio cuenta que estas formas tradicionales de construcción son una respuesta clara al clima y a las condiciones físicas de un lugar incluyendo los materiales disponibles, la vegetación y el entorno.

Este principio es simple pero contundente y es lo que le ha dado a la arquitectura de Barragán un valor extraordinario. Keneth Frampton la identificó como uno de los ejemplos más destacados del “regionalismo crítico” (5). Es decir, la adaptación de los elementos culturales y arquitectónicos tradicionales en una forma crítica a los problemas regionales contemporáneos.



Imagen 8. Luis Barragán, Casa Robles Leon 1927, Guadalajara.
Fotografía Natalia Figueroa

Barragán observa que en las ciudades y los edificios contemporáneos se ha roto el diálogo con la naturaleza y solo priva una idea abstracta de dominar, someter e ignorar al medio natural de una forma histérica y monótona. Cual si la naturaleza fuese el enemigo a conquistar, en lugar del socio con quien tenemos que convivir armónicamente.

Es justamente por eso que uno de los valores más importantes de la arquitectura de Luis Barragán es el análisis y entendimiento del lugar y las diferentes formas para relacionarse con el medio en el que estamos, tanto natural como cultural, a través de un diseño urbano y arquitectónico que integra la topografía, responde al clima, incluye la vegetación, utiliza la luz natural, aprovecha el asoleamiento, emplea los materiales locales y sobre todo busca reconciliar nuestra forma de vivir actual con las otras formas de vida tradicionales y el lugar donde se encuentran. Sus diseños no son una vuelta nostálgica al pasado, sino una recuperación de sus elementos más importantes volviéndolos contemporáneos.

La Intemperie de los Ventanales

Barragán siempre expresó su crítica hacia la dominancia del vidrio sobre todos los demás materiales y particularmente para sustituir a los muros. Esto se aprecia con claridad en la siguiente cita:

Toda arquitectura que no exprese serenidad no cumple con su misión espiritual. Por eso ha sido un error sustituir el abrigo de los muros por la intemperie de los ventanales. (Luis Barragán, 1967, 9)

Aquí observamos cómo, con toda claridad, Barragán nos indica las principales ventajas de los muros. Por una parte, crean espacios privados, protegidos y seguros para darnos una sensación de comodidad psicológica. También advierte que sustituir los muros por ventanales crea condiciones físicas extremas dentro de los espacios. Las construcciones de vidrio se sobrecalentarán durante el día y se sobreenfriarán durante la noche.

Si analizamos los materiales que emplea Barragán en sus muros y aquellos que usamos actualmente para construir espacios en la arquitectura contemporánea podremos observar qué es lo que está pasando.

| MUROS Y VIDRIO | | | |
|------------------------------|--------------------------------|------------------|----------------------------|
| | valor U W/m ² °C | amortiguamiento% | retardado térmico horas |
| MURO DE TABIQUE 18cm | 2.3 | 51% | 6.6 |
| MURO DE TABIQUE 12cm | 2.7 | 33% | 4.7 |
| DUROCK/TABLAROCA 10cm | 2.4 | 10% | 2.0 |
| VIDRIO 6mm | 6.0 | 0% | 0.1 |

Imagen 9. Análisis Térmico de Muros (UCLA: Opaque Software, 3)

En sus proyectos, Barragán emplea generalmente muros gruesos de al menos 18 cm y en algunos casos incluso mayores. Estos son de tabique rojo recocido que es un material tradicional elaborado artesanalmente. Este tipo de tabique tiene un bajo coeficiente de transmisión de energía, con un valor “U” de 2.3 W/m²°C. Al mismo tiempo es un material con una densidad y calor específicos elevados o alta masa térmica. Esto ocasiona una reducción importante de la oscilación térmica al interior de los muros de 51%, así como un retardo térmico de 6.6 horas. Teniendo como resultado que la temperatura máxima de las 4 de la tarde pasará al interior a las 10:40 de la noche y que oscilará solamente la mitad de lo que registre la temperatura exterior. Es decir, un muro de tabique grueso es un elemento constructivo térmicamente estable y aislante.

En contraste, muchos de los edificios contemporáneos utilizan cada vez con más frecuencia sistemas prefabricados, como muros ligeros de Durock-tablaroca con 10 cm de espesor y un espacio de aire en medio. Estos son convenientes por su manejo en seco, rapidez de colocación, reducción de peso en la estructura y reducción de costo del proceso de acabado. Aun cuando tienen un coeficiente de transmisión de energía similar a un muro de tabique (“U” de 2.7 W/m²C), son sistemas constructivos con baja densidad y calor específico, lo que implica que se calentarán y enfriarán rápidamente. Como consecuencia, solamente reducirán un 10% la oscilación térmica y su retardo térmico es de apenas 2 horas. Esto quiere decir que los cambios de la temperatura exterior se perciben al interior con mucha rapidez.

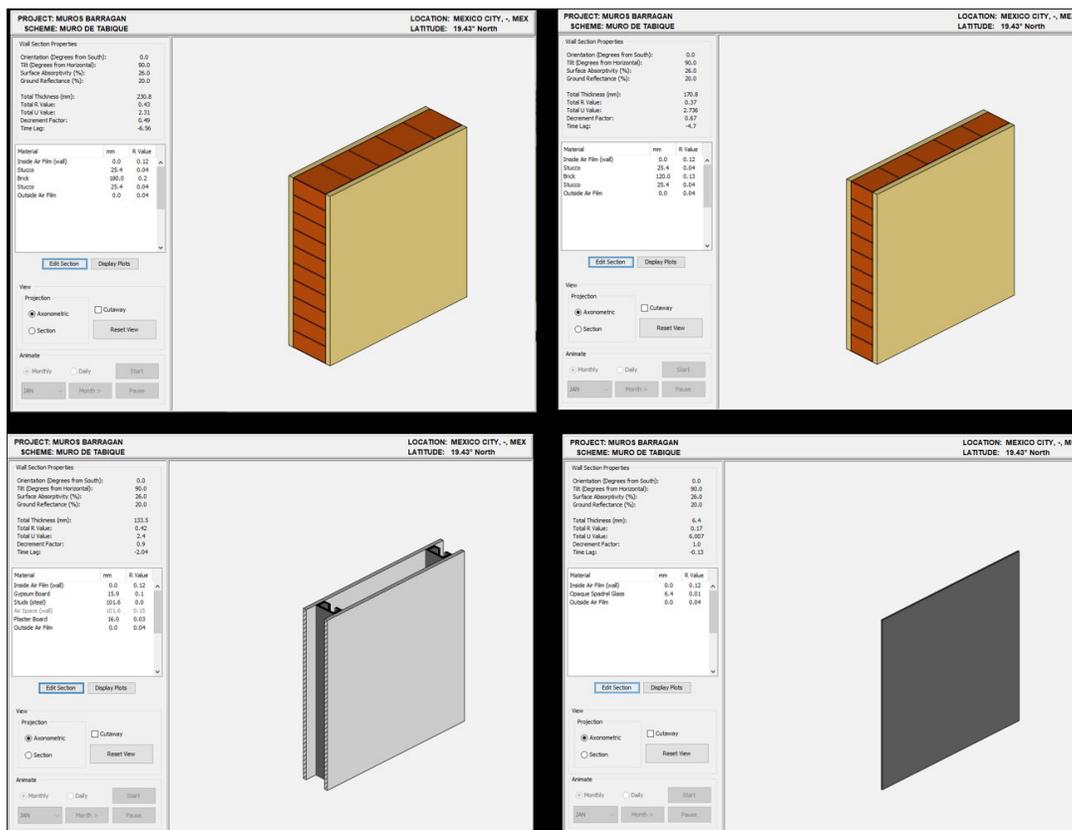


Imagen 10. Análisis Térmico de Muros (UCLA: Opaque Software, 2024, 3)

Por último, el vidrio de 6 mm es el material más común con el que construimos hoy en día. Encontramos que este transmite cerca de tres veces más energía que el muro (U de 6.0 W/m²C), adicionalmente por su espesor no tiene prácticamente ningún amortiguamiento con los cambios de temperatura exterior. Esto quiere decir que cuando la temperatura exterior suba, la temperatura interior también lo hará y en la noche o en el invierno cuando la temperatura interior baje, los espacios interiores se enfriarán de manera prácticamente instantánea, como si estuviéramos a la intemperie. El amortiguamiento de un muro de vidrio de 6 mm es 0% y el retardo térmico apenas unos minutos. Esto implica que no tiene un comportamiento térmico adecuado ni para los climas cálidos, ni para climas fríos y confirma la afirmación de Barragán sobre la “intemperie de los ventanales”.



Imagen 11. Intemperie de los ventanales. Fachada de departamentos contemporáneos en Polanco (Fotografía Aníbal Figueroa)



Imagen 12. Abrigo de los muros. Fachada de la Casa Luis Barragán, Patrimonio de la Humanidad UNESCO. (Fotografía Aníbal Figueroa)

Asoleamiento

El movimiento aparente del sol es uno de los fenómenos que más impactan a las construcciones. Podemos usar el asoleamiento directo para calentar espacios o diseñar tomando en cuenta la orientación para evitar el sobrecalentamiento en climas cálidos. Estos son principios elementales que todo arquitecto debe tomar en cuenta y desde luego Luis Barragán aplicó en sus proyectos.

Sin embargo, la mayor diferencia es el extraordinario uso que hace del asoleamiento para generar efectos visuales y lumínicos. Destaca sobre de todos su propia casa y el espacio de la alberca comedor de la casa Gilardi.

En estos casos, el sol pasa en finos rayos que se reflejan, se difractan o se absorben en los cuadros, muros y agua generando efectos lumínicos extraordinarios. Parece magia, pero son solamente ventanas que han sido cuidadosamente diseñadas tomando en cuenta la geometría solar.

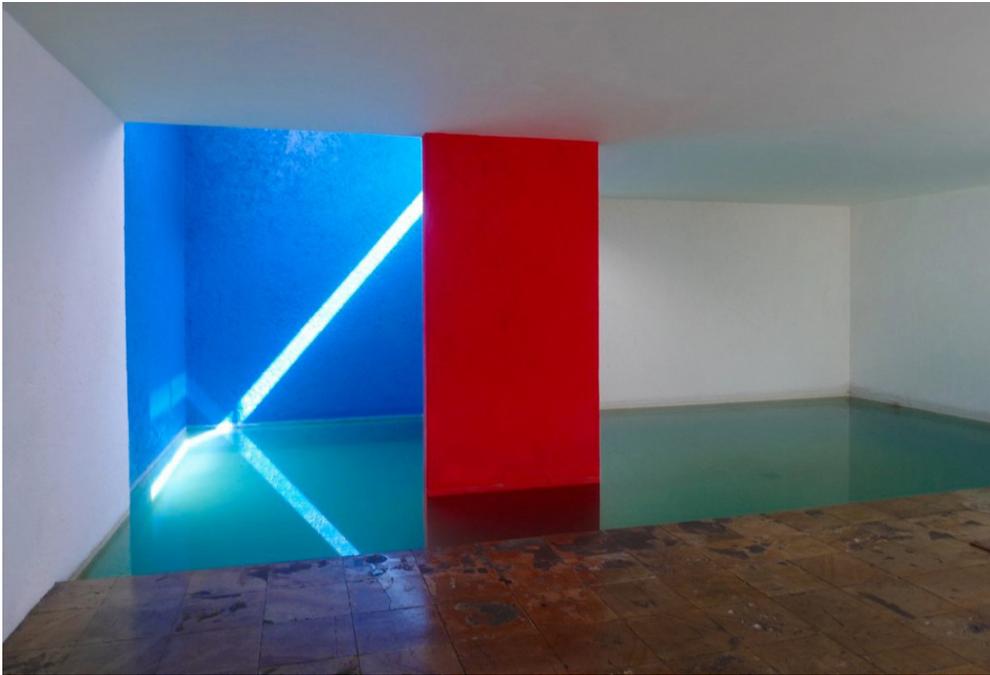


Imagen 13. Luis Barragán, Alberca-comedor de la Casa Gilardi
(Fotografía Aníbal Figueroa)

Iluminación natural

La iluminación natural es un componente esencial de la arquitectura. Nos permite ver los espacios y realizar actividades dentro de ellos. Los reglamentos de construcción establecen niveles mínimos de flujo luminoso incidente en zonas de trabajo dimensionados en Lux.

Siendo mamíferos, como a todos ellos nos es grato en ocasiones descansar a la sombra o estar en la penumbra, por ello las casas que diseñemos deberán tener tanto espacios soleados como zonas sombrías que nos permitan retirarnos a meditar, descansar o estar con nosotros mismos... La arquitectura requiere de sombra y de penumbra tanto como de sol y de ventanas. (Luis Barragán en *El Arte de ver con Inocencia*, 1989, 4)

Contrario a lo establecido en el reglamento de construcciones, Barragán propone que existan algunos espacios poco iluminados para realizar actividades que no requieren altos niveles de iluminación natural. Esto a la vez produce efectos de contraste e intensidad lumínica que permiten apreciar la intensidad luminosa, las sombras y los colores de una manera mucho más efectiva.

En ocasiones, cuando requirió disminuir la iluminación o colorear la luz para obtener un efecto específico, no dudó en pintar los vidrios. Esto ocurre en varios proyectos como su propia casa y la casa Gilardi, tanto en el corredor que lleva a la alberca como en el estudio del primer nivel. Ahí los vidrios se han pintado en color amarillo, lo que produce un efecto lumínico como de un día soleado y también bloquea la visión a través de ellos, haciendo innecesario el uso de cortinas. Algo similar ocurre en la Capilla de Visitantes de las Capuchinas Sacramentarias donde una luz azul ilumina el muro y la celosía que la separa la de Capilla principal que esta iluminada en color ámbar.

Sin embargo, no obstante, el uso mínimo de ventanas, todos los espacios diseñados por Barragán están iluminados naturalmente en forma adecuada, como lo demuestra el análisis lumínico del espacio de la alberca techada de la Casa Gilardi.

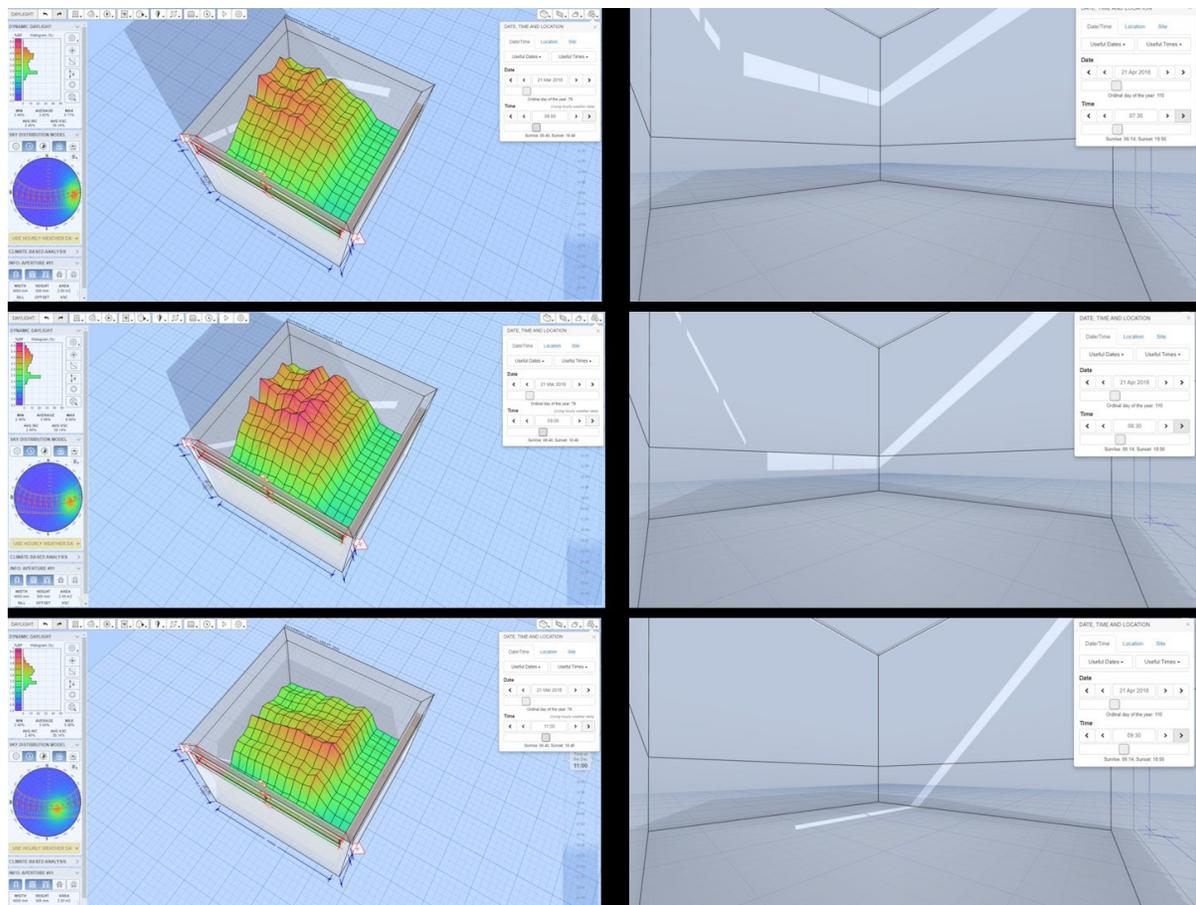


Imagen 14. Análisis lumínico y de sombras en la alberca techada de Casa Gilardi, el color verde indica iluminación adecuada. (Marsh, 2024, 7).

Conclusiones

Los elementos ambientales y bioclimáticos de Luis Barragán, aun cuando han sido aclamados y admirados por muchos arquitectos en México y el extranjero, pocas veces han logrado permear a la arquitectura actual casi toda de acero, vidrio y concreto; hermética y desvinculada de su clima y de su medio, iluminada en forma artificial y sin jardines.

La falta de relación de la vida cotidiana con el medio natural por la presencia de máquinas, y particularmente el automóvil, ha deteriorado nuestra forma de vida.

Por eso, una de las preocupaciones constantes de Luis Barragán fue la vinculación de la naturaleza con los espacios construidos.

Es importante reconocer el valor arquitectónico de la arquitectura popular para las soluciones contemporáneas, ya que actualmente se construyen edificios iguales para cualquier clima, cultura o lugar.

En climas templados como Guadalajara o la Ciudad de México, los espacios abiertos como jardines, terrazas, plazas, patios y azoteas son un componente fundamental para las funciones de la casa.

Al sustituir los muros por ventanales, se crean condiciones físicas extremas dentro de los espacios, ya que estos se sobrecalentarán durante el día y se sobre enfriarán durante la noche.

En las viviendas se deben incluir algunos espacios poco iluminados, o dispositivos para regular la entrada de luz, que permitan realizar actividades que no requieren altos niveles de iluminación natural.

Es posible hacer uso del asoleamiento para calentar los espacios en algunas épocas del año, pero al mismo tiempo se pueden generar efectos visuales y lumínicos extraordinarios. Para ello es básico el conocimiento y aplicación de la geometría asociada al movimiento aparente del sol.



Imagen 15. Luis Barragán en la Escalera de su casa.(2)

Opino que si ustedes quieren estudiar mi arquitectura deben de ir a las fuentes a las que fui yo, para que no copien el resultado, sino para que hagan su propia síntesis. (Luis Barragán en El Arte de ver con Inocencia, 1989, 4)

Referencias Bibliográficas

- Barragán, Luis (1980). The Pritzker Architecture Prize. 1980 Laureate Acceptance Speech. Hyatt Foundation. Chicago, USA
- Barragán, Luis (1980). Barragan on Barragan. Architype Magazine of Architecture. San Francisco, USA. Consultado en: <https://usmodernist.org/archetype/arche-1980-autumn.pdf>
- Energy Design Tools (2024). Opaque 3.0. Software, UCLA Department of Architecture and Urban Design. Los Angeles, USA.
- Figueroa, Aníbal (1989). El Arte de Ver con Inocencia: Pláticas con Luis Barragán. Ed. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco. Ciudad de México, México.
- Frampton, Kenneth (2020). Modern Architecture. Ed. Thames & Hudson. New York, USA.
- INEGI (2024). Vehículos registrados en Circulación. Ciudad de Mexico, CDMX, Mexico.
- Marsh, Andrew (2018). Dynamic Daylighting Analysis software. Consultado en <https://andrewmarsh.com/apps/testing/daylight-room.html>
- Salas Portugal, Armando (1945). Fotografías del Archivo Max Cetto. Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México, México.
- Smith, Clive Bamford (1967). Builders in the Sun, Five Mexican Architects. Architectural Book Publishing Co. New York, USA

Cosecha de agua de lluvia en la ciudad de Chihuahua

Ciclos de precipitación: histórico y anomalías

Estela Peña Hernández¹

Luis Carlos Herrera Sosa²

1 Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Correo: al228193@alumnos.uacj.mx

2 Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Correo: carlos.herrera@uacj.mx

Resumen

La ciudad de Chihuahua, México, enfrenta una creciente crisis de agua debido a la variabilidad climática y el aumento de la demanda de agua. Este estudio analiza datos históricos de precipitación para comprender los patrones hidrológicos de la región y su relación con el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Los resultados indican una significativa variabilidad interanual en la lluvia, con extremos tanto húmedos como secos. Se observa una tendencia decreciente en la precipitación total, destacando la necesidad de estrategias de gestión del agua adaptables. La recolección de agua de lluvia se propone como una solución viable para mitigar la escasez de agua. Al capturar y almacenar agua de lluvia, las comunidades pueden mejorar la seguridad hídrica y reducir su dependencia de fuentes de agua convencionales. El estudio subraya la importancia de integrar el conocimiento tradicional con las tecnologías modernas para lograr una gestión sostenible del agua frente al cambio climático.

Palabras clave: Cosecha de lluvia, precipitación, gestión hídrica, sequías, Chihuahua.

Abstract

Chihuahua, Mexico, faces a growing water crisis driven by climatic variability and increasing water demand. This study analyzes historical precipitation data to understand the region's hydrological patterns and their relation to the El Niño-Southern Oscillation (ENSO). Results reveal significant interannual variability in rainfall, with both wet and dry extremes. A decreasing trend in total precipitation underscores the need for adaptable water management strategies. Rainwater harvesting is proposed as a viable solution to alleviate water scarcity. By capturing and storing rainwater, communities can enhance water security and reduce dependence on conventional water sources. The study emphasizes the importance of integrating traditional knowledge with modern technologies to achieve sustainable water management in the face of climate change.

Keywords: Rainwater harvesting, precipitation, water management, droughts, Chihuahua.

Introducción

En la conferencia de las Naciones Unidas sobre el desarrollo sostenible (Rio+20), se menciona que “el agua es la base del desarrollo sostenible” (Connor & Koncagúl, 2015). La gestión del agua es la base principal del desarrollo de las culturas, por lo que es considerada como el elemento central de los pilares de la sostenibilidad, por lo que este recurso se presenta como un desafío para la humanidad.

En muchos lugares del mundo el agua es un recurso limitado y costoso, lo que dificulta el acceso a esta fuente vital de vida. En algunos casos el agua potable disponible no es de calidad adecuada debido a la contaminación y otros factores (Grupo independiente de científicos designados por el Secretario General, 2019), como el cambio climático, el crecimiento demográfico, la urbanización, la deforestación y la contaminación, que contribuyen a su escasez en muchas regiones (Connor & Koncagúl, 2015). A estos factores se añaden la falta de infraestructuras adecuadas y el uso insostenible de los recursos hídricos.

Aunque podría parecer repetitivo abordar este tema de manera constante, resulta esencial mantenerlo en el centro de atención y buscar soluciones eficaces, pues la problemática global del agua representa una realidad ineludible y apremiante en la actualidad. De acuerdo con la ONU (2021), en el mundo actual, tres de cada diez personas carecen de acceso a agua potable.

De acuerdo con la CONAGUA (2023), en México se está consumiendo más agua de la que se recarga en sus fuentes naturales. Además, las fuentes superficiales, como las cuencas, están experimentando una reducción en su disponibilidad y una creciente contaminación. Esta situación ha llevado a la región norte del país, incluyendo la ciudad de Chihuahua, a un estado de estrés hídrico evidente.

Según el análisis de Olivas (2022), la situación de la disponibilidad de agua en Chihuahua se encuentra en una crisis aguda, la cual es impulsada por una combinación de factores tanto antropogénicos como naturales. Estos factores están contribuyendo a una serie de problemas socioeconómicos que afectan al estado en general y a la ciudad de Chihuahua en lo particular.

La ciudad de Chihuahua depende en gran medida de los acuíferos subterráneos para su abastecimiento de agua, incluyendo los acuíferos Chihuahua-Sacramento, Tabaloapa-Aldama y Sauz-Encinillas (Palma et al., 2018). Estos acuíferos representan la principal fuente de agua para la región, pero su capacidad de recarga está siendo severamente comprometida por la expansión urbana y el uso intensivo del recurso hídrico.

Además, el crecimiento urbano de la ciudad ha sido significativo, especialmente en las áreas periféricas, como el Norte, Sur Oriente y Poniente. Este crecimiento ha llevado a una expansión desmedida de las áreas urbanas, intensificando la demanda de recursos hídricos y poniendo una presión adicional sobre los acuíferos existentes (Olivas, 2022). La expansión hacia estas zonas periféricas ha modificado los patrones de consumo y ha aumentado el riesgo de sobreexplotación de los acuíferos.

Como respuesta a esta problemática, que se presenta a nivel mundial, las Naciones Unidas han reconocido la importancia del agua y, en consecuencia, han incorporado la disponibilidad y gestión sostenible del agua, así como su saneamiento, como objetivos específicos dentro de la Agenda 2030. En este contexto, se han identificado seis desafíos fundamentales que requieren atención, siendo el Desafío 6.4, agua y saneamiento, el que subraya la necesidad de utilizar de manera eficiente el agua de lluvia, un recurso hídrico que hasta ahora ha sido subutilizado (ONU, Objetivos Desarrollo Sostenible, 2023).

Desde esta perspectiva, la recolección y el uso del agua de lluvia se presentan como una alternativa prometedora para complementar los suministros de agua potable. Al aprovechar el agua de lluvia, se pueden reducir los costos y la dependencia de fuentes de agua convencionales. Además, esta práctica puede contribuir a la sostenibilidad del ecosistema al reducir la escorrentía y el impacto de las inundaciones (Serrano, 2014).

Antecedentes históricos de la cosecha de agua de lluvia

La cosecha de lluvia, o sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL), es una tecnología que se utiliza para recolectar y aprovechar el agua de lluvia, la cual ha sido utilizada por diversas culturas como una forma de abastecimiento de agua (Connor & Koncagúl, 2015).

Esta tecnología implica habilitar superficies impermeables, como techos y áreas de construcciones, con el propósito de capturar el agua de lluvia. Una vez capturada, esta agua se conduce hacia lugares donde puede ser almacenada en depósitos o cisternas, para luego ser utilizada con diversos fines como: consumo humano, riego agrícola o abastecimiento pecuario (Herrera, 2010).

Históricamente en Chihuahua muchas culturas primigenias han adaptado el uso del agua de lluvia a sus necesidades. En el sitio arqueológico de Paquimé ubicada al noroeste del estado en el municipio de Casas Grandes, se encuentra una de las ciudades prehispánicas más significativas de Norteamérica. En ella se han descubierto complejos sistemas de canales y cisternas subterráneas diseñados para recolectar y almacenar agua de lluvia (Brown, 1998). Estos avanzados sistemas hidráulicos eran cruciales tanto para el abastecimiento de una población extensa como para las actividades agrícolas de la ciudad.

La Junta Central de Agua y Saneamiento de Chihuahua (JCAS) aprobó un acuerdo para reducir el rezago en el suministro de agua potable, abordando así la pobreza y exclusión social en el estado. Este programa se centra en los municipios de la Alta y Baja Tarahumara (figura 1), donde las carencias en acceso al agua son críticas. Su objetivo es mejorar la calidad de vida mediante el apoyo a organizaciones sociales para implementar proyectos de captación de agua de lluvia, combinando enfoques modernos y tradicionales para enfrentar los desafíos del suministro hídrico en Chihuahua (JCAS, 2020).

Cosecha de agua de lluvia en la ciudad de Chihuahua
Ciclos de precipitación: histórico y anomalías



Figura 1 Cosecha de lluvia en zona tarahumara en el estado de Chihuahua. Fuente: <https://www.jcas.gob.mx/cosechas-de-agua>

A diferencia de las áreas rurales y comunidades vecinas, que han integrado métodos tradicionales de recolección de agua de lluvia con éxito y sostenibilidad, en la ciudad de Chihuahua, una zona urbana en constante crecimiento aún no ha explorado estas prácticas de manera extensiva. Actualmente no se observa la implementación generalizada de técnicas de cosecha de agua de lluvia como alternativa para el abastecimiento. Esta situación presenta una oportunidad significativa para la adopción y desarrollo de tecnologías avanzadas capaces de recolectar y almacenar grandes volúmenes de agua pluvial. Pero para ello y dentro de este contexto, el análisis del factor de precipitación se torna esencial. Es crucial examinar el comportamiento histórico de las precipitaciones, identificar anomalías y comprender los ciclos pluviales para desarrollar estrategias adecuadas para la cosecha de lluvia.

El clima de la ciudad de Chihuahua

La ciudad de Chihuahua, capital del estado de Chihuahua en México, se encuentra ubicada en la región noroeste del país, en las coordenadas geográficas aproximadas de 28° 38' 30" de latitud norte y 106° 05' 20" de longitud oeste (Figura 2). Esta posición geográfica la sitúa en una región semiárida caracterizada por un clima árido, donde la precipitación es un recurso crítico para las necesidades hídricas de la población y el entorno, en una altitud de aproximadamente 1,455 metros sobre el nivel del mar y está rodeada por las majestuosas montañas de la Sierra Madre Occidental (INEGI, 2020).

El clima se considera un clima de estepa local. Según Köppen y Geiger, el clima se clasifica como BSh (Semiárido), que significa que experimenta condiciones de sequía y precipitaciones limitadas. Las temperaturas promedio reflejan un clima cálido, con una temperatura máxima promedio de alrededor de 24.9 °C y una temperatura mínima promedio de 9.7 °C. La humedad relativa máxima promedio se sitúa en alrededor del 14.5%.

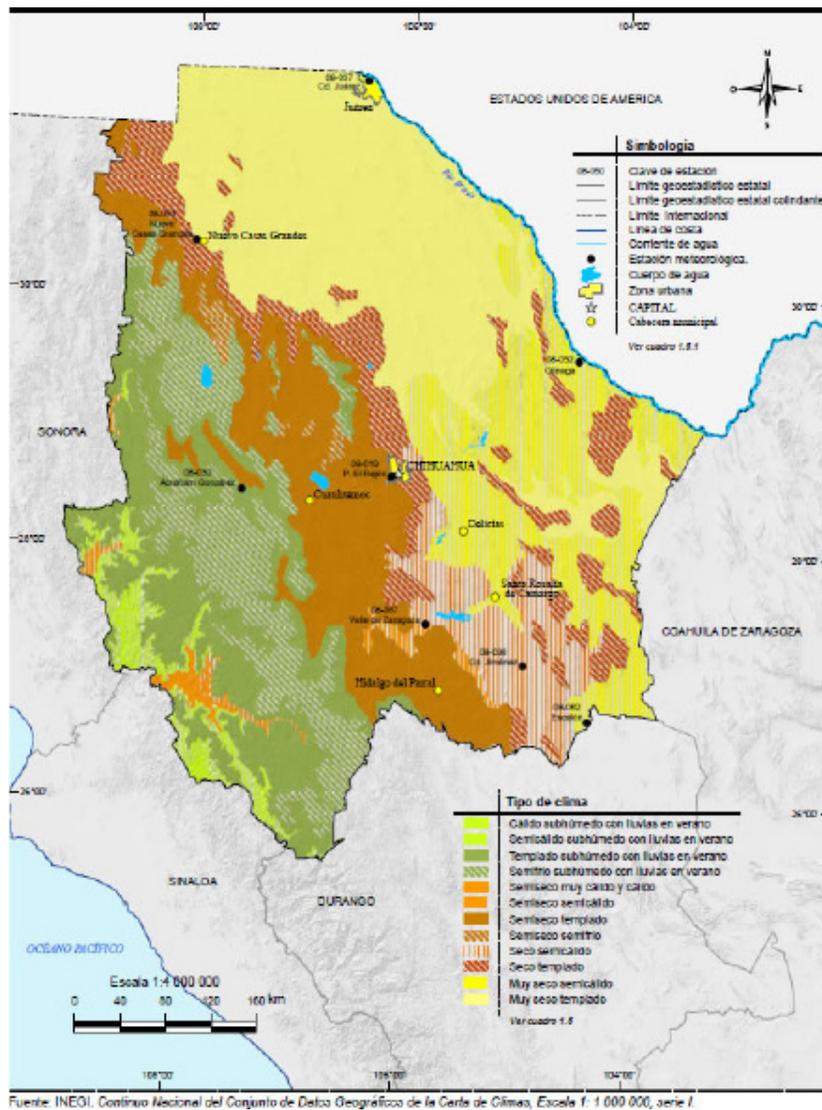


Figura 2 Mapa clima Estado Chihuahua y sus municipios. Fuente: INEGI, 2018

La hidrografía de la ciudad de Chihuahua

El territorio del municipio de Chihuahua se encuentra en la vertiente occidental de México, representada por el Río Conchos en el estado. En su mayoría, todas las principales corrientes del municipio son afluentes del Río Conchos. El municipio forma parte de las Cuencas Cerradas del Norte, dividiéndose en un 54.5% en la cuenca de Casas Grandes y un 45.5% en la cuenca del Bravo-Conchos.

La ciudad de Chihuahua se caracteriza por la poca presencia de cuerpos de agua. Las dos principales corrientes son el río Chuvíscar que recorre de este a oeste la ciudad y el río Sacramento que va de norte a sur. Al unirse ambos ríos su afluente desemboca en el río Conchos, que a su vez es afluente del Río Bravo. Cuenta con cuatro presas: Chuvíscar, Rejón, San Marcos y Chihuahua, todas ellas consideradas como reservorios de agua, sin embargo, en la actualidad no funcionan como tal.

Comportamiento histórico de precipitación

Los climas áridos y semiáridos suelen caracterizarse por bajas precipitaciones y temperaturas extremadamente elevadas, lo que resulta en tasas significativas de evaporación y transpiración, limitando así la recarga de aguas subterráneas y generando disponibilidad de agua relativamente escasa o incluso nula. En la ciudad de Chihuahua, se observa un patrón climático distintivo, con una temporada de lluvias que abarca de junio a septiembre (ver figura 3), mientras que en los meses restantes las lluvias son poco frecuentes. Lo mismo ocurre con las temperaturas, que se mantienen altas principalmente de mayo a septiembre, constituyendo el período más cálido del año (Olivas, 2022).

Los datos climáticos para Chihuahua se obtuvieron de la estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) denominada Observatorio, identificada como 8040. Estos datos incluyen registros de temperatura y precipitación desde 1960 hasta 2023 (ver figura 4). Los registros muestran temperaturas máximas promedio anuales que varían entre 5.9°C y 29.5°C.

De acuerdo con la clasificación Köppen, el acuífero Chihuahua-Sacramento, presenta tres tipos de climas: árido (BSokw) con temperaturas entre 12°C y 18°C, semiárido (BS1kw) con temperaturas que oscilan entre -3°C y 18°C, y semiseco (BS1k"w). En síntesis, predomina un clima árido con tendencia a ser extremadamente seco (Olivas, 2022).

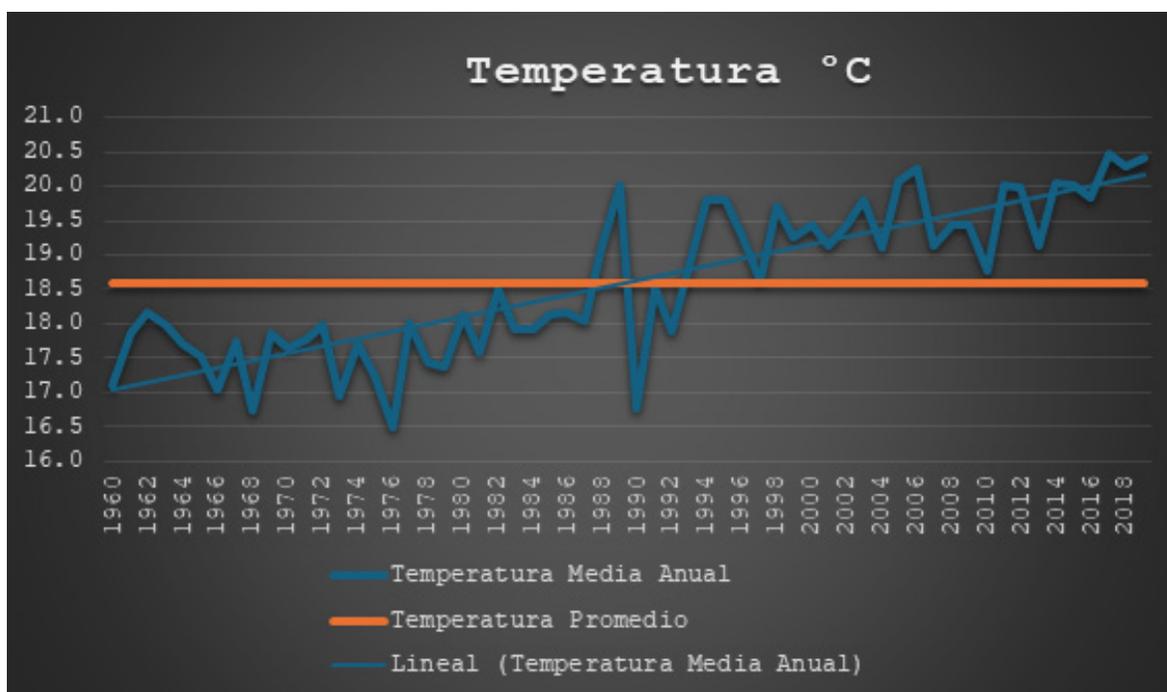


Figura 4 Serie de tiempo de la temperatura media Anual. Fuente datos CONAGUA, 2022

En cuanto a la precipitación promedio en la cuenca, se utilizaron datos históricos recopilados de la estación climatológica del municipio de Chihuahua, Observatorio 8040, que abarcan desde 1960 hasta 2019. De acuerdo con esos datos, la precipitación media anual en la zona es de 409.9 mm. El año más lluvioso registrado fue en 1986, con 714 mm de lluvia, mientras que los años con menos precipitación fueron 1994, con 171 mm, y 2011 con 190 mm (ver figura 5).

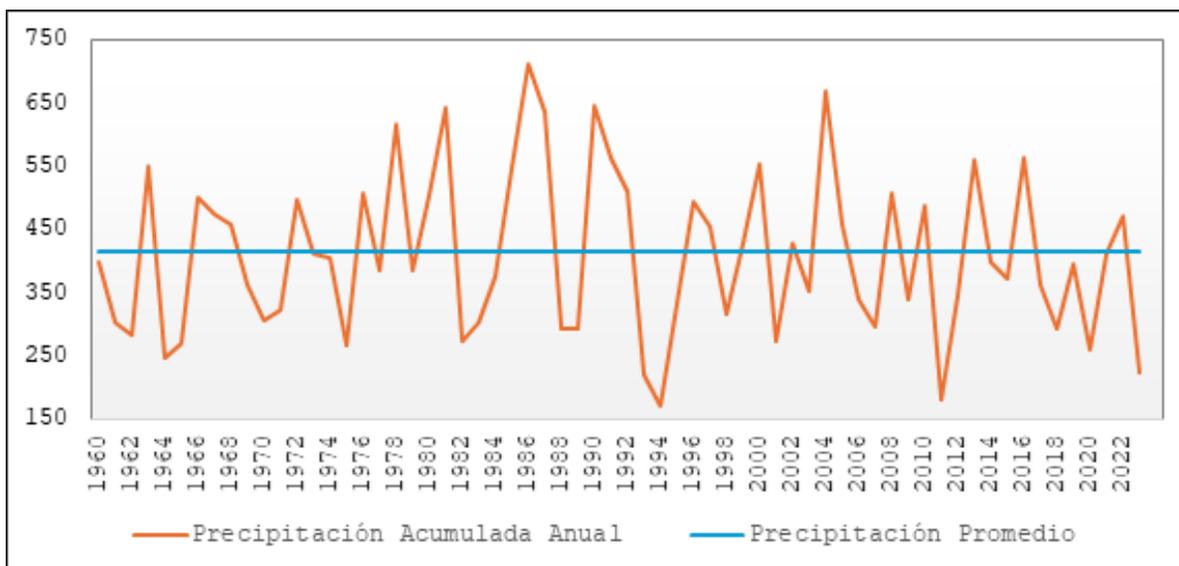


Figura 5 Serie de tiempo de la precipitación media anual, fuente de datos CONAGUA, 2022

Anomalía de precipitación

El cambio climático ha exacerbado la variabilidad climática a nivel global, manifestándose en eventos extremos como sequías prolongadas, inundaciones repentinas y patrones de precipitación irregulares (Martin & Gentile, 2021).

Una anomalía en precipitación se refiere a la diferencia entre la cantidad de lluvia registrada y la cantidad de lluvia esperada, basada en datos históricos promedio para un período específico. Esta diferencia se puede expresar de dos maneras: como anomalía porcentual y absoluta, que se mide en milímetros (mm) de precipitación (CONAGUA, 2023). Estas medidas son cruciales para evaluar y comprender las fluctuaciones en los patrones de lluvia y su impacto en los recursos hídricos.

Los datos del comportamiento y anomalías de precipitación anual del periodo de 1960 a 2023 fueron proporcionados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (ver figura 6). Mediante la desviación estándar se realizó un análisis, obteniendo un promedio histórico anual de precipitación de 409.9 mm, con un límite máximo de precipitación de 537.2 mm y un límite mínimo de 282.6 mm, anuales. Este enfoque permite identificar en la precipitación los años que se pueden definir como anomalías, tanto positivas como negativas.

Cosecha de agua de lluvia en la ciudad de Chihuahua
Ciclos de precipitación: histórico y anomalías

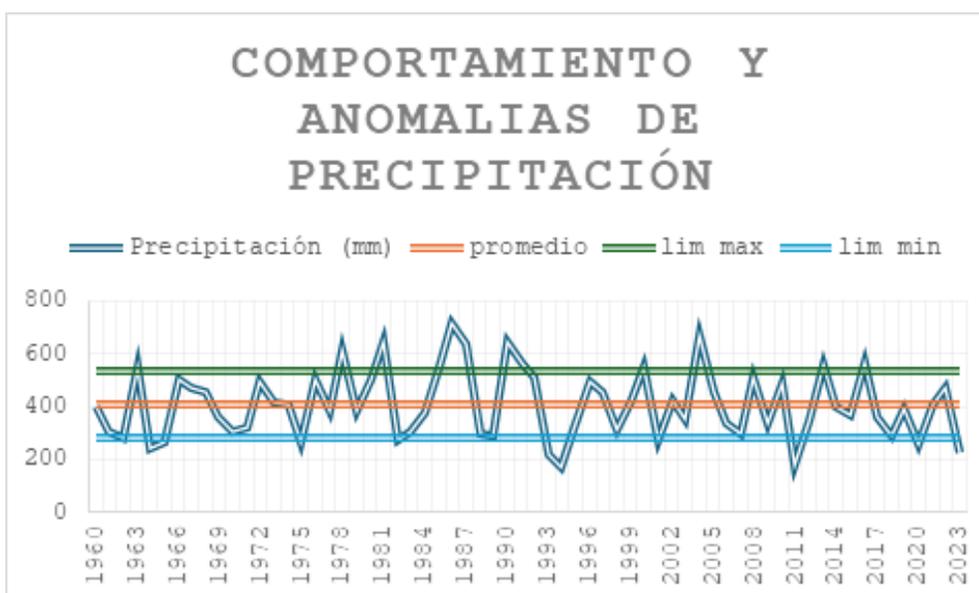


Figura 6 Grafica de comportamiento y anomalías histórico de precipitación. Fuente datos CONAGUA, 2023

Se observa una notable variabilidad en las precipitaciones anuales de Chihuahua, destacando años con anomalías significativas de alta precipitación contrastados con periodos de sequía (ver figura 7). Esta variabilidad pone de manifiesto la naturaleza impredecible del clima en la región y subraya la importancia de planificar para una amplia gama de escenarios climáticos.

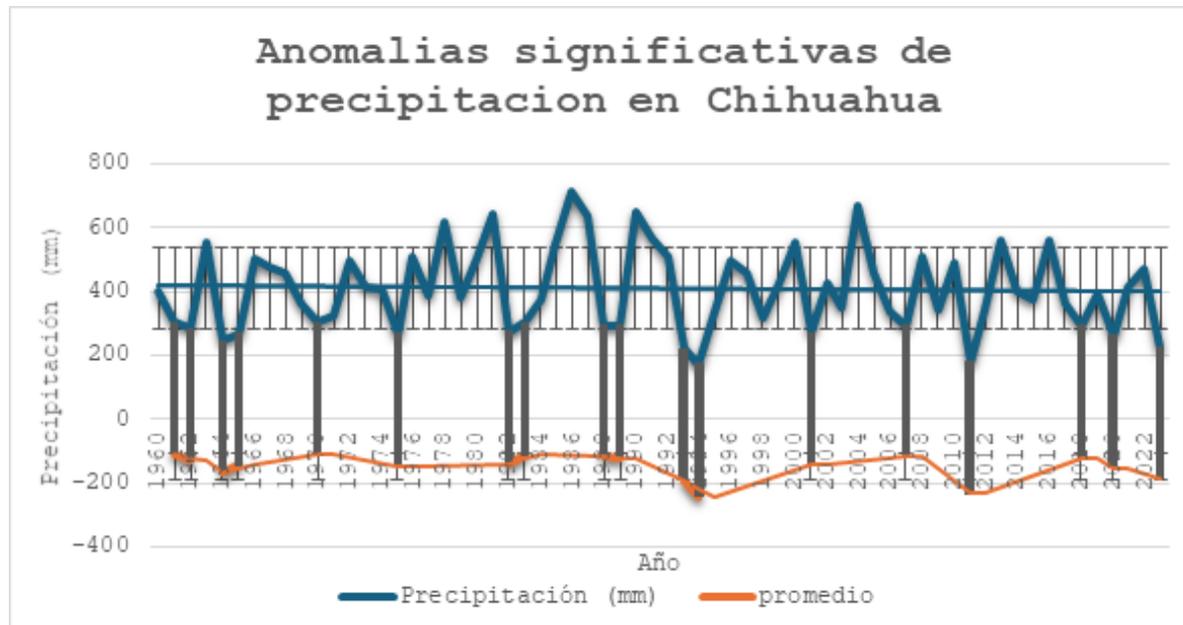


Figura 7 Anomalías significativas de precipitación. Fuente datos CONAGUA, 2023

En Chihuahua, estas anomalías climáticas y de precipitación tienen profundas implicaciones para la disponibilidad de agua y la gestión de recursos hídricos, afectando tanto el suministro como la planificación y conservación de este recurso vital.

Ciclos de precipitación en Chihuahua

Los ciclos de precipitación son resultado de la interacción de diversos factores climáticos y oceanográficos, como la variabilidad natural del clima. Fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación del Atlántico Norte (NAO) y la Oscilación Madden-Julian (OMJ) pueden influir significativamente en los patrones de precipitación a escala regional y global (Sánchez- Santillán, Signoret-Poillon, & Garduño-López, 2006).

Según Sheinbaum, 2003 (citado en CONAGUA, 2023). El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un patrón oceánico-atmosférico que se desarrolla en el Pacífico Ecuatorial, caracterizado por fluctuaciones en la temperatura superficial del mar (TSM), este fenómeno ocurre de manera irregular, con ciclos que se presentan cada 2 a 7 años, y tiene tres fases distintas: Neutral, cálida (El Niño) y fría (La Niña). Durante la fase de El Niño, se observa un calentamiento significativo de la TSM en el Pacífico central y oriental (figura 8), lo que provoca un debilitamiento de los vientos alisios y desplaza las áreas de precipitación hacia el este (CONAGUA, 2023) (ver figura 8).

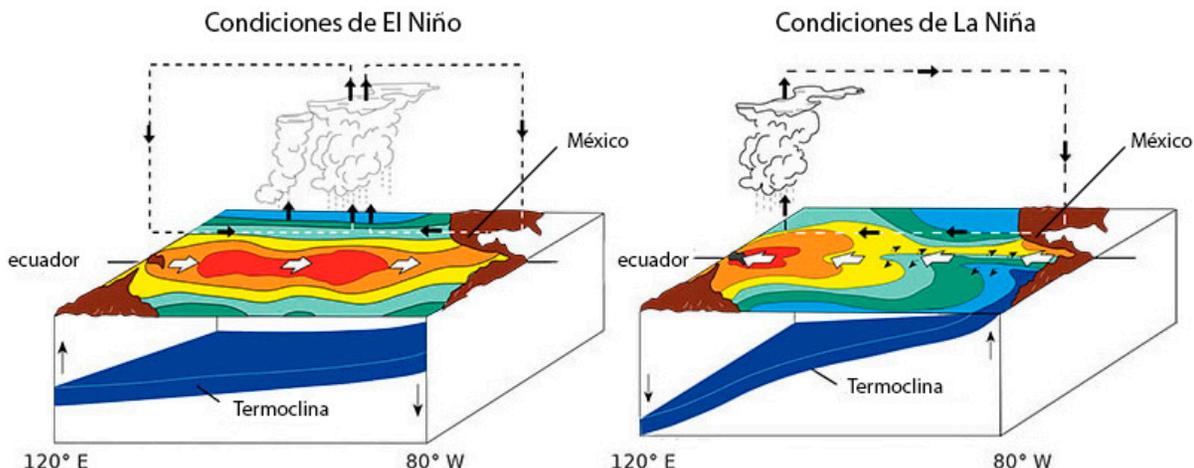


Figura 8 Esquema de la circulación oceánica y atmosférica en condiciones de El Niño y La Niña. Fuente: CONAGUA, 2023 (Editado de NOAA/pmel)

Esto puede resultar en un incremento en las lluvias en regiones que usualmente son secas, como Chihuahua. En contraste, durante la fase de La Niña, los vientos alisios se fortalecen, llevando el agua cálida hacia el oeste y aumentando la surgencia de aguas frías en el Pacífico oriental (Sánchez- Santillán, Signoret-Poillon, & Garduño-López, 2006), lo que suele reducir las precipitaciones en Chihuahua.

El análisis histórico de los datos de precipitación en Chihuahua muestra cómo los eventos de ENOS influyen en las anomalías de precipitación. Por ejemplo, años como 1986 y 1997, asociados a El Niño, muestran incrementos significativos en las precipitaciones, mientras que años como 2011 y 1999, asociados a La Niña, presentan reducciones notables. La identificación y análisis de estos eventos son esenciales para comprender la variabilidad climática y su impacto en la disponibilidad de agua en la región.

Resultados

El análisis de las precipitaciones anuales en Chihuahua revela una notable variabilidad interanual, caracterizada por una alternancia entre períodos húmedos y secos. Se identificaron años con anomalías de precipitación significativas, tanto positivas como negativas, destacando los años 1986, 2011 y 2023 como los más extremos en cuanto a desviaciones de las precipitaciones medias. Estos eventos atípicos subrayan la importancia de desarrollar e implementar estrategias de gestión del agua que sean flexibles y adaptables a las cambiantes condiciones climáticas.

Aunque la variabilidad interanual es clara, el análisis de series temporales extensas sugiere una tendencia decreciente en las precipitaciones totales en la región a lo largo de las últimas décadas. Esta tendencia, enmarcada en el contexto del cambio climático global, podría indicar una intensificación de los eventos extremos y una mayor frecuencia de sequías en el futuro. La reducción en las precipitaciones totales podría exacerbar la vulnerabilidad hídrica de la región, haciendo imperativo un enfoque proactivo en la gestión de los recursos hídricos.

El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) emerge como un factor determinante en la variabilidad de las precipitaciones en Chihuahua. Los años caracterizados por eventos de El Niño, como 1986 y 1997, se asocian con aumentos significativos en las precipitaciones. En contraste, los años dominados por eventos de La Niña, como 2011 y 1999, presentan una disminución notable en las precipitaciones. Esta relación evidencia la influencia de los patrones climáticos a gran escala en la dinámica hídrica local, indicando que las fluctuaciones en las precipitaciones pueden estar estrechamente vinculadas a fenómenos oceánicos y atmosféricos globales.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de una planificación y gestión del agua que considere tanto la variabilidad climática interanual como las tendencias a largo plazo. La integración de modelos climáticos globales en las estrategias de gestión hídrica local puede ofrecer una mejor comprensión de las posibles variaciones futuras y contribuir a una gestión más efectiva y resiliente de los recursos hídricos en Chihuahua.

Conclusión

Los patrones de precipitación en Chihuahua muestran una alta variabilidad interanual, con periodos de sequías severas alternando con episodios de alta precipitación. Esta variabilidad tiene implicaciones directas y significativas para la gestión de los recursos hídricos en la región.

La tendencia decreciente en las precipitaciones totales, combinada con la presencia de eventos extremos, hace evidente la necesidad de adaptar las estrategias de manejo del agua para abordar eficazmente tanto las sequías como los periodos de lluvia intensa. En este contexto, la cosecha de agua de lluvia emerge como una solución clave para mejorar la resiliencia hídrica de la región.

Durante los años de alta precipitación, es esencial implementar y optimizar sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia. Estos sistemas deben incluir infraestructuras adecuadas, como reservorios y cisternas urbanas, que permitan acumular el exceso de agua para su uso en tiempos de escasez. La integración de tecnologías modernas en estos sistemas, junto con prácticas tradicionales de captación, puede maximizar la eficiencia y efectividad en la recolección de agua.

En los periodos de sequía, la capacidad para almacenar agua y utilizarla de manera eficiente se convierte en un recurso vital. La promoción de la cosecha de agua de lluvia en viviendas y espacios públicos, junto con la adopción de tecnologías de eficiencia hídrica y prácticas de conservación del agua, puede ayudar a mitigar los efectos de la escasez. Estas medidas no solo aseguran un suministro más estable de agua durante los tiempos secos, sino que también contribuyen a una gestión más equilibrada de los recursos hídricos.

La adaptación a los patrones de precipitación de Chihuahua, mediante la implementación de sistemas de cosecha de agua de lluvia y estrategias de gestión del agua, es fundamental para enfrentar los desafíos actuales y futuros en la región. La combinación de soluciones innovadoras y prácticas tradicionales permitirá a la ciudad de Chihuahua mejorar su resiliencia frente a la variabilidad climática y asegurar un suministro de agua sostenible y eficiente para sus habitantes.

Bibliografía

- Brown, R. B. (1998). Paquime. *Arqueología Mexicana*, 30(5), 65.
- CONAGUA. (2023). Sistema Nacional de Información del Agua. Obtenido de <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=tarifas&ver=reporte>
- Connor, R., & Koncagúl, E. (2015). Agua para un Mundo Sostenible: Resumen Ejecutivo. Obtenido de <http://unesdoc.unesco.org/images/0023/002322/232272s.pdf> 74
- Escamilla, P. D. (2010). Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable. [línea]. Obtenido de <http://www.conama10.conama.org/conama10/download/files/CT,202010,41008>.
- Grupo independiente de científicos designados por el Secretario General. (2019). Informe Mundial sobre el Desarrollo Sostenible 2019: El futuro es ahora — la ciencia al servicio del desarrollo sostenible. Obtenido de <https://sustainabledevelopment.un.org/content/docu>
- Herrera, L. A. (2010). Estudio de alternativas para el uso sustentable del agua lluvia. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ingeniería Civi. Unidad Zacatenco: IPN-ESIA .
- INEGI. (2020). Censo de Población y Vivienda 2020. Obtenido de www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/
- JCAS. (30 de julio de 2020). Obtenido de www.jcas.gob.mx: <https://www.jcas.gob.mx/cosechas-de-agua/>
- Martin, P., & Gentile, E. (2021). El cambio climático, debates actuales sobre mitigación, vulnerabilidad y adaptación.
- Olivas, R. A. (2022). Recarga inducida de acuíferos en fraccionamientos urbanos en la zona poniente de la ciudad de Chihuahua . Tesis Maestría. Chihuahua: Universidad Autónoma de Chihuahua.
- ONU. (7 de Septiembre de 2021). Noticias ONU. Obtenido de <https://news.un.org/es/story/2021/09/1496392>
- ONU. (2023). Objetivos Desarrollo Sostenible. Obtenido de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Sánchez- Santillán, N., Signoret-Poillon, M., & Garduño-López, R. (2006). La Oscilación del Atlántico Norte: un fenómeno que incide en la variabilidad climática de México. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 7(2), 85-95.

- Serrano, S. (2014). Aprovechar el agua de lluvia. Doble solución. Divulgación de la Red del Agua UNAM: Sistemas de captacion de agua lluvia, 23-27.
- Sheinbaum J. (2003): Current theories on El Niño-Southern Oscillation: A review. Geofísica Internacional, Volúmen 42: 291-305

