

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA

“Metodología integrada de técnicas y procedimientos para el diseño arquitectónico sustentable con bases ecológicas y ambientales”

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE
MAESTRA EN ARQUITECTURA
En el campo de conocimiento de Diseño Arquitectónico

PRESENTA:
Arq. Camila Díaz Solanelles

TUTOR PRINCIPAL
Dr. Hermilo Salas Espíndola
Facultad de Arquitectura

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR

Mtro. Sergio Alfonso Martínez
FES Aragón

Mtro. Enrique Jesús Díaz Barreiro y Saavedra
FES Aragón

Ciudad Nezahualcóyotl, Estado de México, FES Aragón, agosto 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicarle este trabajo a mi papá, por ser la piedra angular de mi formación como arquitecta y mi brazo derecho en tantas ocasiones. A mi madre, por su inmenso apoyo durante toda mi vida y en especial en estos 2 años de intenso trabajo. A todas las personas que me ayudaron y estuvieron a mi lado aunque fuera con sus palabras. Mi agradecimiento especial al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo económico otorgado para poder cursar los estudios de la Maestría en Arquitectura.

A todos sin distinción, GRACIAS.

RESUMEN

La presente tesis propone una metodología enfocada en las fases de conceptualización y diseño del ciclo de vida de las edificaciones. Para desarrollarla se investigó en el ámbito teórico-práctico sobre tres conceptos del diseño arquitectónico: arquitectura ecológica, diseño bioclimático y fuentes renovables de energía, a fin de integrarlos en una herramienta para alcanzar una arquitectura más sustentable.

Desde el punto de vista práctico se caracterizó a la Ciudad de México mediante un análisis físico-geográfico y climático, el cual permitió recopilar datos para identificar regiones análogas en el mundo y ciudades con condiciones semejantes a esta. En ese sentido se sentaron las bases para validar la implementación de estrategias de diseño sustentable en los edificios objeto de estudio seleccionados de las propias ciudades.

Se realizó un análisis comparativo de fichas técnicas de edificios diseñados y construidos con criterios de arquitectura sustentable, y a partir de ahí se recopilaron métodos y procedimientos, comparables con la información del marco conceptual y con el trabajo metodológico de profesionales de la arquitectura.

Los resultados del análisis, la compilación teórica y la revisión de metodologías existentes permitieron conformar una propuesta actualizada aplicable a nuevos proyectos de diseño y construcción con un objetivo sustentable.

ABSTRACT

This thesis proposes a methodology focused on the phases of conceptualization and design of the life cycle of buildings. To develop it, we investigated in the theoretical-practical field over three concepts of architectural design: ecological architecture, bioclimatic design, and renewable energy sources, to integrate them into a unique tool to achieve a more sustainable architecture.

From a practical point of view, we characterized Mexico City using a physical-geographic and climatic analysis, which made it possible to collect data to identify similar regions in the world and cities with conditions analogous to this one. In this sense, we established foundations to validate the implementation of sustainable design strategies in the understudy-selected buildings from the cities themselves.

Was carried out a comparative analysis of technical sheets of buildings designed and built with sustainable architecture criteria, and were compiled methods and procedures compared with the information from the conceptual framework and with the methodological work of architecture professionals.

As a result of the analysis, the theoretical compilation, and the review of existing methodologies, we develop an updated applicable proposal to new design and construction projects with a sustainable objective.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN 11

CAPÍTULO I_Marco teórico-conceptual para el diseño de arquitectura sustentable 21

- I.1_Sustentabilidad y desarrollo sustentable 21
- I.2_México, acciones políticas en pro del desarrollo sustentable 27
- I.3_Desarrollo de la arquitectura ecológica en México 33
- I.4_Arquitectura sustentable 39
 - I.4.1_Uso de fuentes renovables de energía 39
 - I.4.2_Construcción ecológica. Materiales y procesos 47
 - I.4.3_Recursos pasivos de clima 56
- I.5_Conclusiones parciales. Síntesis de tecnologías y recursos de diseño sustentable 60

CAPÍTULO II_Análisis de sitio y contexto de la Ciudad de México 60

- II.1_La Ciudad de México 62
- II.2_Condiciones físico-geográficas 60
 - II.2.1_Temperatura 65
 - II.2.2_Microclimas urbanos. Islas de calor urbanas en la Ciudad de México 67
 - II.2.3_Presencia de áreas verdes en la ciudad de México 71
 - II.2.4_Precipitación pluvial y humedad relativa 79
 - II.2.5_Brisas predominantes y dirección del viento 84
 - II.2.6_Calidad del aire 86
- II.3_Asoleamiento e irradiancia solar 89
- II.4_Conclusiones parciales. Características relevantes para análisis comparativo 91

ÍNDICE

CAPÍTULO III _Selección y análisis de casos de estudio 93

III.1 _Selección de casos de estudio similares al contexto de la Ciudad de México 93

III.2 _Análisis comparativo de casos de estudio 103

III.2.1 _Procesos metodológicos de diseño 113

III.2.2 _Síntesis de elementos de diseño a partir del análisis de los casos de estudio 116

III.3 _Metodologías existentes 121

Metodología de Víctor Olgyay

Metodología de Steven V. Szokolay

Metodología de David Morillón Gálvez

Metodología de Víctor A. Fuentes Freixanet

Metodología de Luis de Garrido

III.4 _Propuesta de Metodología de diseño sustentable 128

CONCLUSIONES 132

REFERENCIAS

INTRODUCCIÓN

La arquitectura es una de las profesiones más antiguas que se conocen. El hombre, desde tiempos remotos ha tenido la necesidad de modificar el medio en que se desarrolla, pues al ser la especie físicamente peor preparada de la naturaleza, ha necesitado resguardo de las inclemencias del clima, así como un refugio que le provea un descanso confortable.

La transformación del medio, así como el intercambio constante de energía y materia es inherente al ser humano. El desarrollo y las tecnologías que con el tiempo se fueron alcanzando, han permitido que las acciones sobre el medio sean cada vez más agresivas,

al punto de desgastar los recursos y depredar el medio de una manera irreversible.

Entre todas las industrias contaminantes que operan a nivel mundial, se reconoce la industria de la construcción como una de las principales actividades del desarrollo humano “que absorbe el 50% de todos los recursos mundiales, lo que la convierte en la actividad menos sostenible del planeta” (Dueñas del Río, 2013).

Se ha manifestado que hoy los edificios consumen el 60% de los materiales extraídos de la tierra, y su utilización, aunado a las acciones de edificación originan alrededor de la mitad de las emisiones de CO₂ vertidas a la

atmósfera, esto sin dejar de mencionar que se ha evidenciado que al menos el 30% de las nuevas edificaciones o rehabilitadas provocan afectaciones a la salud de sus moradores (Worldwatch, 1995).

Con la globalización, la arquitectura ha sido una de las profesiones más afectadas. A través de los medios y el mercado tanto los arquitectos como los inversionistas se han apropiado de códigos ajenos a la cultura local, y los han insertado descuidando las tradiciones, el clima de la región, los materiales e incluso las propuestas. Las soluciones de diseño responden a una imagen y se sobreponen a las transformaciones del

medio, las cuales son por lo general agresivas, provocando daños irreversibles e insostenibles.

México no está exento a esta realidad, en particular la Ciudad de México que es una de las ciudades más contaminadas de Latinoamérica y el mundo. Independientemente de la contaminación por la actividad humana y la densidad vehicular que tiene la ciudad, la industria de la construcción año tras año reporta números en ascenso. Los datos son económicamente favorables, pero demuestran que la principal industria contaminante en el mundo se mantiene activa y en crecimiento en esta ciudad. El Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO) reportó con

respecto al año 2018 un crecimiento del 0.6% en la actividad productiva de la industria en general. En el reporte por subsectores la Obra Privada registró un aumento del 1.3%, y el subsector Trabajos Especializados de la Construcción alcanzó un crecimiento de 5.5% (CEESCO, 2019).

La sustentabilidad es un tema relevante en la agenda internacional desde 1986, año en que sesionó la Comisión Brundtland, donde se presentó el concepto de desarrollo sustentable, y se definieron los objetivos que se debían seguir para alcanzar un desarrollo que no comprometiera el bienestar de la humanidad en un futuro.

La sustentabilidad se comienza a considerar en la arquitectura desde mediados del

siglo XX época en que se reconoce el aporte de la profesión para el desarrollo sustentable ya que la construcción es una industria altamente contaminante que involucra directamente al ser humano y es motor impulsor de la economía.

El avance del cambio climático a nivel global dio paso a que se comenzaran a tomar alternativas de diseño en la arquitectura que permitieran construir de una manera más sustentable y económica, afirmó Ken Yeang en una cátedra sobre ecoarquitectura en el Gran Museo del Mundo Maya de Mérida, Yucatán en febrero de 2019 (Obras, 2019).

El interés en México por la arquitectura sustentable surge aproximadamente en 1960. Es a partir de esta época que un grupo

de académicos y arquitectos comenzaron a abordar esta cuestión con mayor profundidad, pues era inminente la inquietud por alcanzar el confort de una manera más económica y menos agresiva con el medio .

Luis de Garrido define la arquitectura sustentable como aquella que satisface las necesidades de sus ocupantes, en cualquier momento y lugar, sin que por ello se ponga en peligro el bienestar y el desarrollo de las generaciones futuras. “(...) Implica un compromiso honesto con el desarrollo humano y la estabilidad social, utilizando estrategias arquitectónicas con el fin de optimizar recursos y materiales; disminuir al máximo el consumo energético, promover el uso de energías renovables; reducir al máximo los residuos y las

emisiones; reducir al máximo el mantenimiento y el precio de los edificios; ganar en funcionalidad y mejorar la calidad de vida de sus ocupantes” (Luis de Garrido, 2010).

A pesar de este concepto, avalado en 2010 por Ken Yeang, Emilio Ambasz, Norman Foster, Richard Rogers, Antonio Lamela, David Kirkland, Jonathan Hines, Rafael de la Hoz, Iñigo Ortiz, Enrique León, Mario Cucinella y Winny Maas; algunos de los arquitectos más importantes de nuestros tiempos, la arquitectura sustentable tiene un medidor de mercado que lleva por nombre “Certificaciones de Sustentabilidad” Estas se han convertido en la principal estrategia de la construcción sustentable (Ver Fig. I.1).

Las certificaciones de sustentabilidad

Fig. 1_Torre Reforma, vista aérea.

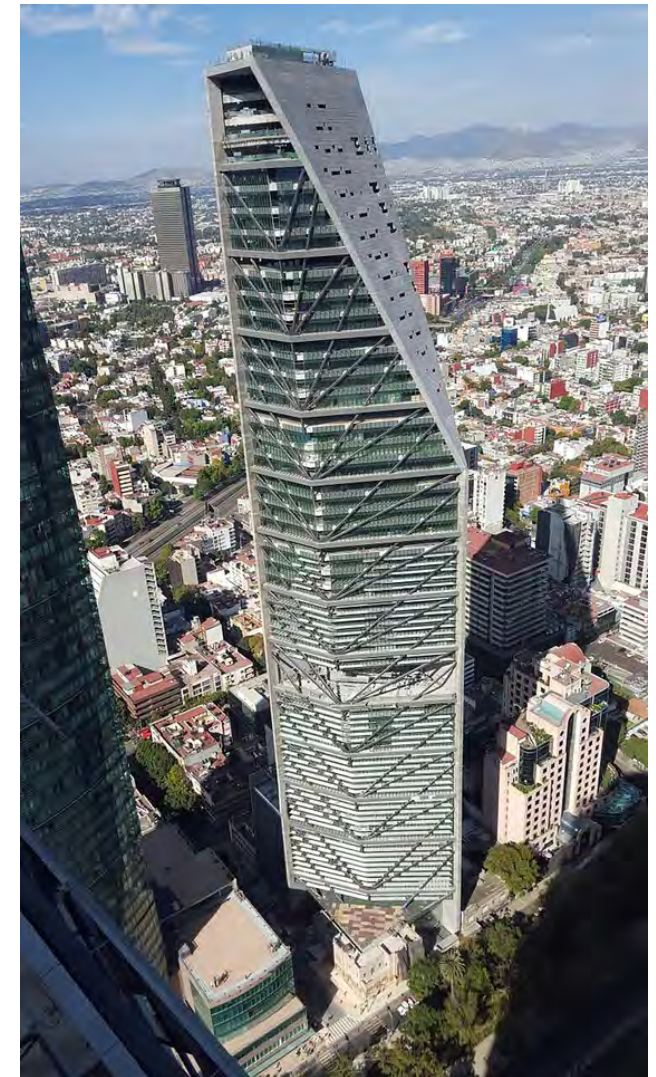


Fig I.1_Torre Reforma en la Ciudad de México. Edificio con certificación LEED v4 Platino.

surgieron en el seno de países desarrollados y responden a sus esquemas económicos. Estas certificaciones llegan a América Latina por medio del fenómeno de la globalización que trajo consigo esquemas extranjeros ajenos a los contextos donde se implementaron ignorando las condiciones económicas y políticas locales.

En México específicamente la certificación que se implementó con mayor fuerza fue la certificación LEED. Esta llega al país en 2005 cuando el edificio de oficinas “Centro Internacional de Negocios” en Ciudad Juárez, Chihuahua fue certificado como LEED para construcción nueva, nivel básico o “certificado”.

La Ciudad de México es una de las ciuda-

des mexicanas con mayor número de edificios certificados en el país y en América Latina en general. Hasta diciembre de 2018 contaba con 370 edificios certificados (Obras, 2019).

De acuerdo a algunos autores, las certificaciones de sustentabilidad ofrecen un beneficio de mercado a las empresas, aportan una plusvalía internacionalmente reconocida que coloca a las nuevas edificaciones en una mejor posición competitiva, pero sobre todo están estructuradas de modo que ofrezcan una flexibilidad que pueda acomodarse a los procesos de diseño y construcción de cada región, prometiendo una sustentabilidad adaptada al mercado (Mora Bello, 2014).

Las certificaciones constituyen sellos

“supuestamente ecológicos”, que en general encarecen mucho más la arquitectura llenándola de artefactos y alejándola del camino de la verdadera arquitectura sustentable (de Garrido, 2010).

La certificación de sustentabilidad por sí sola no garantiza el diseño arquitectónico sustentable, pues su concepción permite márgenes flexibles que manipulados por el mercado pueden ser desventajosos para el objetivo de alcanzar una arquitectura sustentable. Sin embargo, la arquitecta Lourdes Salinas opina que la certificación puede ser un recurso positivo mientras se utilice como apoyo a la normativa, lo cual es el primer renglón a cubrir en un proyecto arquitectónico (Salinas, 2019).

Las certificaciones proponen ante todo un método. Lo que lleva a que el resultado no sea totalmente sostenible, es la interpretación de ese método y las soluciones aplicadas en el diseño de los edificios, las que en muchas ocasiones le dan prioridad a los aditamentos tecnológicos. Ofrecen una lista de verificación, cuyo uso es recomendable en un segundo nivel, una vez que hayan sido cumplidos los requerimientos normativos locales en materia de sustentabilidad.

En aras de contribuir con el desarrollo sostenible desde la arquitectura y la industria de la construcción el Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y edificación (ONNCCE) emitió en el 2013 la NMX-AA-164-SCFI-2013 “Edifi-

cación Sustentable, Criterios y Requerimientos Ambientales Mínimos”; que reúne los requisitos mínimos para el diseño y la construcción sustentable, sin embargo dada su condición de NMX tiene carácter voluntario. Los Reglamentos de Construcción, que sí son de obligatorio cumplimiento no contienen lineamientos de diseño y construcción suficientes para una arquitectura sustentable. El Título V del reglamento de construcción de la Ciudad de México aborda el proyecto arquitectónico; se desarrolla en 6 capítulos el contenido sobre los requerimientos generales de habitabilidad, de instalaciones hidráulicas, eléctricas así como los requerimientos de integración al contexto y la imagen urbana.

En 6 capítulos se destinan líneas aisladas para alternativas “sustentables”:

- Se menciona el aprovechamiento del recurso energía solar en el ahorro de energía eléctrica en el calentamiento de agua.
- El capítulo III en el artículo 81 especifica que “...además del sistema convencional de calentamiento de agua, se instalará un sistema de calentamiento de agua por medio del aprovechamiento de la energía solar que provea un porcentaje del consumo energético anual por uso de agua caliente...” (Federal, 2004).
- Con respecto a la iluminación el Reglamento de Construcción remite al

cumplimiento de las NOM y las NMX; de igual modo sobre la ventilación trata en el artículo 88 y menciona que “los locales en las edificaciones contarán con medios de ventilación natural o artificial que aseguren la provisión de aire exterior, en los términos que fijen las normas” (Federal, 2004).

- En el artículo 124, exige que “toda construcción nueva de más de 200 m² de azotea deberá contar con un sistema de captación y aprovechamiento de agua pluvial de la superficie construida a nivel azotea, para lo cual deberá contarse con una cisterna para este fin, dicho aprovechamiento se dará en todos aquellos usos que no requieran agua

con calidad potable como inodoros, riego de áreas ajardinadas y actividades de limpieza” (Federal, 2004).

Por lo antes visto, se puede concluir que el sistema normativo para la construcción sustentable en México es débil en su generalidad y de no tomarse alternativas oportunas, la arquitectura sustentable accesible a todos no será una realidad.

Los miembros de un equipo de proyecto tienen la responsabilidad de producir diseños eficientes, que aporten al proyecto de desarrollo sustentable de la humanidad. Es en parte nuestra responsabilidad el evitar la propagación de la arquitectura anónima, lucrativa, que responda al interés de un individuo que ignora la magnitud del daño ambiental

que provoca.

Ya existen algunas herramientas para mitigar los efectos irreversibles que causan las construcciones en el medio ambiente. Diferentes autores abordan los recursos conceptualmente por separado. La doctora Ruth Lacomba tienen una extensa investigación sobre el aprovechamiento de la energía del sol y la arquitectura solar, el Mtro. Víctor Fuentes Freixanet desarrolló su tesis de maestría sobre el diseño bioclimático, concentrándose específicamente en las componentes climáticas. Guillermo Enrique Gonzalo en su libro “Manual de Arquitectura Bioclimática” (2003) combina el diseño aprovechando los recursos pasivos del clima y las energías renovables en un manual técnico,

con herramientas metodológicas para mejorar las relaciones entre los espacios que proyecta el arquitecto y el medio ambiente.

Por otro lado, está el concepto de ecoarquitectura o construcción ecológica, que aborda la construcción como proceso y tiene en cuenta los ciclos de vida tanto de las edificaciones como de los materiales utilizados.

Todo este análisis nos permite resumir la **problemática** en los siguientes elementos:

- La industria de la construcción es una de las que tiene mayor impacto negativo sobre el medio ambiente.
- Factores políticos, económicos y sociales impiden una respuesta sustentable de los inversionistas, proyectistas y usuarios.

- La construcción obedece a los intereses de los desarrolladores inmobiliarios, no a las políticas de construcción sustentable.

- La normativa para la construcción sustentable en México lejos de ser una norma, es una recomendación no sancionada.

- El reglamento de Construcción de la CDMX no precisa los requerimientos de un proyecto de construcción sustentable.

La investigación que se presenta coadyuva a los intereses de encontrar una solución a dicha problemática, y está dirigida por las siguientes **preguntas de investigación**:

- ¿Se puede crear una herramienta que

integre los diferentes conceptos de la arquitectura sustentable, contribuya a lograr construcciones más eficientes y menos contaminantes?

- ¿A partir de una metodología de diseño, se puede complementar el sistema normativo para la construcción sustentable?

Se plantea entonces la siguiente **hipótesis**: Si se crea una metodología que integre tanto los recursos pasivos del clima, las fuentes renovables de energía y los criterios de construcción ecológica, entonces servirá como una herramienta para el diseño arquitectónico sustentable.

Por tanto, el **objetivo principal** que persigue la investigación es:

Estructurar una metodología que integre técnicas y procedimientos del diseño arquitectónico sustentable aplicable al contexto de la Ciudad de México.

Esto deriva en los siguientes **objetivos particulares:**

1. Explorar los conceptos de diseño arquitectónico sustentable e identificar sus principales características.

2. Caracterizar el contexto de la Ciudad de México en cuanto a las condiciones físico-geográficas: asoleamiento, tipo de suelo, predominio de brisas, climas y microclimas, características del aire, niveles de contaminación, etc.

3. Identificar las zonas de la Ciudad de México con características críticas.

4. Identificar ciudades con condiciones semejantes a la CDMX para seleccionar edificios como casos de estudio.

5. Analizar los casos de estudio para identificar los recursos y métodos utilizados de índole práctico y al mismo tiempo consultar las propuestas metodológicas de algunos autores.

6. Realizar una propuesta de metodología que contemple los elementos del diseño arquitectónico sustentable: recursos pasivos del clima, construcción ecológica y fuentes renovables de energía.

La tesis se estructura en **4 capítulos:**

El Capítulo I comprende el marco teórico para la investigación. En este se abordan los principales términos y conceptos que rigen el

tema de investigación desde un panorama general a uno más particular. Se desarrollan los conceptos de sustentabilidad y diseño bioclimático en términos generales y específicamente en el contexto mexicano. Se concluye con el resumen de las principales características identificadas y la viabilidad de su aplicación en la ciudad de México.

En el **Capítulo II** se analiza la Ciudad de México como área de estudio desde un enfoque físico-geográfico, a fin de obtener datos relevantes que se emplearán para seleccionar los casos de estudio. Se analizarán variables climáticas como temperatura, radiación solar, precipitaciones, presión atmosférica, contaminación atmosférica, y distribución de la vegetación en el territorio.

En el **Capítulo III** se analizan los edificios caso de estudio que fueron diseñados con criterios de arquitectura sustentable, ubicados en ciudades con características físico-geográficas semejantes a la Ciudad de México. En este capítulo se identifican los recursos utilizados en el diseño y la construcción, los procesos de diseño y las metodologías seguidas por los arquitectos a fin de obtener una síntesis de recursos e identificar los que son aplicables en el contexto mexicano. De igual manera se analizan algunas metodologías existentes a fin de profundizar el trabajo y conformar una propuesta integral actualizada de metodología de diseño sustentable.

Límites de la investigación:

Disponibilidad de información en el tiempo que dure la investigación. Acceso total a datos y fuentes gráficas de construcciones en países extranjeros.

Metodología: Se realizará un análisis comparativo a partir de la elaboración de fichas de información de los casos de estudio, complementado con la investigación de los principales autores que han abordado el tema de investigación, así como con un amplio marco teórico-conceptual del diseño y la construcción sustentable.

CAPÍTULO I_Marco teórico conceptual

I.1_Sustentabilidad y desarrollo sustentable

“La realidad no se debe ver como un objeto determinado, sino a través de los procesos que la determinan” Federico Engels.

El pensamiento ambiental actual se puede considerar como el resultado de la interacción de un conjunto de factores sociales, culturales, políticos y económicos en el avance de la historia y la evolución del contexto ambiental mundial.

Se puede considerar que la relación hombre-naturaleza data de los filósofos pre-socráticos, donde la coexistencia entre ambos elementos era la base de la existencia

humana. El siglo XIX, fue un siglo de mucha actividad científica. Bajo la palabra de Darwin se estaba gestando una nueva concepción de la naturaleza donde se esboza que el hombre es competitivo y egoísta por naturaleza, en lucha por la supervivencia y se apropiaba de los recursos naturales para garantizar la perpetuidad de la especie.

Thomas Malthus, Ralph Waldo Emerson y Darwin, entre otras figuras, abrieron una nueva panorámica en lo que respecta al modo de interactuar del hombre con la naturaleza. Thomas Malthus (1798) menciona en

su Primer Ensayo sobre la Población que “(...) la capacidad de crecimiento de la población es finitamente mayor que la capacidad de crecimiento de la tierra para producir alimentos para el hombre. La población, si no encuentra obstáculos aumenta en progresión geométrica. Los alimentos tan solo aumentan en progresión aritmética.” Su postura sobre la superpoblación de la Tierra constituyó un reflejo de los efectos de la actividad agresiva del hombre sobre los recursos del planeta y a su vez, es ejemplo claro de la reacción de la comunidad científica de la época

sobre este problema.

El final del siglo XIX y los inicios del siglo XX estuvieron marcados por acontecimientos internacionales relevantes. Es en 1843 que se dicta la Ley sanitaria en Londres, conocido como el primer acercamiento a un cambio sanitario en las ciudades. Posterior a esto entre 1914 y 1945 suceden las dos Guerras mundiales, y entre estas en 1929 la Gran Depresión económica del capitalismo. Los tres fenómenos ocasionaron el desplazamiento a las ciudades de grandes masas de población rural y la economía se concentró principalmente en la industria armamentista generando grandes volúmenes de gases y residuos contaminantes. Es en 1918 que se comienza a analizar desde el punto de vista

de la genética las repercusiones para la salud humana de la contaminación, ciencia que se perfecciona tras los agravios medioambientales de esta época.

En 1932, posterior a la crisis económica surge la Bauhaus en Dessau, con nuevas ideas al respecto de la interacción del hombre con la naturaleza. La Bauhaus propone un nuevo enfoque para la industria ligera en el plano del diseño. En el plano de la arquitectura y el urbanismo, reconoce la importancia del elemento verde en su integración con el edificio y en la interacción con las personas.

La Segunda Guerra Mundial concluye en 1945 dejando dos bombas atómicas en el territorio asiático y un crecimiento económico sustancial para los países americanos, que

bajo el efecto de arrastre de la economía de guerra mejoraron su situación, soportada en la explotación desmedida de sus recursos naturales.

En 1949 a partir de uno de los primeros informes del Banco Mundial se define “la pobreza”, dada por la relación diferenciada de ingresos per cápita entre los países del Norte y los países del Sur esencialmente. La misión de expertos del Banco Mundial enviada a Colombia en 1949 concluyó que solo una acción generalizada por todo el país en la educación, salud, vivienda, alimentación y productividad, el círculo vicioso de la pobreza, ignorancia, salud y baja productividad podría ser definitivamente superado (Sachs, 1999).

En 1950, el presidente Norteamericano Harry Truman define por primera vez a las zonas más desfavorecidas como subdesarrollados, concepto que incluía en su mayoría y generalizaba a los países del Sur. Es entonces que propone la Política de Progreso y Desarrollo que actúa como estrategia para saquear los recursos naturales de los países subdesarrollados.

El período de 1945 a 1962 se caracteriza por el “desarrollo” casi como sinónimo de economía. Es en esta época que la naturaleza se considera una variable económica más, donde el crecimiento económico es primordial como solución a los problemas de la humanidad y se desata una explotación desenfrenada de recursos que paulatina-

mente alarmará a la comunidad científica.

Desde 1958 bajo la dirección del científico Charles David Keeling se venían realizando mediciones de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, mostrando para esta fecha un incremento considerable de la concentración de este gas con predicciones de continuar en aumento. Sus mediciones comprueban que antes de la “Era Industrial” las concentraciones de CO₂ en la atmósfera eran de 280ppm (partes por millón) y predice un aumento exponencial, identificando este fenómeno como una de las causas de los cambios que se venían identificando en la naturaleza.

En el plano cultural, es en 1962 que Rachel Carson publica su libro “La primavera

silenciosa” y Bárbara Word y René Dubois escriben el libro “Una sola Tierra” como reflejo de la situación medioambiental apreciada desde la sensibilidad de la población. Esto demuestra que no solo en el plano de la ciencia se palpaba una conciencia de cuidado ambiental, sino que la población apreciaba las consecuencias y experimentaba una señal de alarma al respecto.

En 1968 el informe del Club de Roma pone de manifiesto los peligros que amenazaban a la población del mundo. En 1972, poco antes que se desatara la crisis del petróleo se publicó una revisión, “El Informe sobre los límites del desarrollo” por Donella Meadows y a partir de este se desató un movimiento que sería conocido como ecología política y otras

corrientes político-filosóficas derivadas tales como el ecofeminismo o el ambientalismo.

La corriente Conservacionista del ambientalismo, ligada muy estrechamente a los resultados publicados en el informe del Club de Roma tiene un peso Malthusiano en su propuesta al plantear la necesidad de realizar reducciones en la utilización de recursos naturales, la contaminación, las inversiones y la natalidad (Sánchez Torres, 2014).

Es en un contexto de importantes cambios socioeconómicos, caracterizado por la explosión demográfica de finales de los sesentas e inicios de los años setenta, así como por una inquietud en la comunidad científica por los cambios inminentes en la naturaleza, que se realiza en Estocolmo la Conferencia de las

Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, en junio de 1972.

A partir de este evento se concentran las miradas en investigar la destrucción de la capa de ozono, el cambio climático, el problema de la desertificación y la deforestación. El movimiento Deep Ecology propone un cambio de lo antropocéntrico a lo ecocéntrico, donde el hombre se integra totalmente en la naturaleza, no estando ni por encima, ni fuera de la naturaleza. Se creó dentro de los organismos de la ONU el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) cuya labor abarca evaluar las condiciones y las tendencias ambientales a nivel mundial, nacional y regional; elaborar instrumentos ambientales internacionales y nacionales; y

fortalecer las instituciones para la gestión racional del medio ambiente.

Ya desde 1972 el mundo cuenta con una organización que vela por las preocupaciones de la sociedad y de la comunidad científica y una política con respecto al deterioro medioambiental.

Fig 1.2_Logo PNUMA. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.



En 1987 se decide realizar la Comisión Brundtland ante la interrogante que dominaba al mundo en materia político-ambiental: ¿A dónde vamos? En esta se conceptualiza por primera vez sobre el Desarrollo Sostenible definiéndolo como “aquel que permite satisfacer las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer las de las generaciones futuras”

Con la Comisión Brundtland toma auge la corriente de Ambientalismo Moderado. En esta la propuesta es de continuar con el mismo modelo de desarrollo basado en el crecimiento ecológico con márgenes de conservación, pretendiendo solucionar los problemas ambientales y humanos, donde los últimos son consecuencia de los primeros.

Esta corriente tiene como condición inicial el crecimiento económico que favorece la equidad y el cuidado de lo no humano (Sánchez Torres, 2014).

El Informe de Brundtland contrasta los modelos de desarrollo económicos del momento con el de sostenibilidad ambiental con el propósito de replantearse las políticas de desarrollo económico globalizador, reconociendo que el avance social se estaba llevando a cabo a un precio medioambiental muy alto. Entre sus objetivos perseguía llevar a cabo dos tipos de restricciones: ecológica, con respecto a la conservación del planeta; y otra moral, que implica la renuncia a los niveles de consumo a los que no todos los individuos pueden aspirar.

En 1988, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) crean el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático (IPCC), con el objetivo de proporcionar una fuente objetiva de información científica.

Este grupo comenzó a realizar mediciones y a emitir datos consistentes con la realidad que estaba enfrentando el mundo con el Cambio Climático. Los estudios y mediciones demuestran que el principal contaminante era la industria en todas sus ramas.

Se promueve por tanto una política por “Industrias Limpias” en busca de evitar la contaminación y evitar la entropía. Una solución

política que promueve la certificación de los materiales por su procedencia y niveles de industrialización. En el campo de la arquitectura y la construcción se crean certificaciones de sostenibilidad que más adelante pasan a ocupar un puesto protagónico en el imaginario colectivo en materia de cuidado ambiental.

I.2_México, acciones políticas en pro del desarrollo sustentable

México ha tenido una fuerte presencia en las decisiones y toma de acciones para mitigar los efectos del cambio climático y lograr un desarrollo sustentable. Los gobiernos se han mostrado políticamente activos en la firma de tratados y convenios internacionales al respecto.

Desde antes de 1968, fecha en que sesionó el “Club de Roma” se aprecia en el marco internacional el reconocimiento por parte de México de la veracidad de los efectos del cambio climático en el planeta y como su principal causante la mano del hombre y sus sistemas

económicos depredadores de la naturaleza. Las primeras convenciones en que participa fueron llevadas a cabo en 1936 y 1940, cuyos temas de interés fueron la protección de especies, específicamente de las aves migratorias, y la protección de la flora y fauna y las bellezas escénicas de los países de América, respectivamente (Segob, 2003).

A escala internacional se han celebrado conferencias así como convenciones que han tenido un peso determinante en el manejo de decisiones y acciones para mitigar los efectos del cambio climático y la búsqueda

de un desarrollo sostenible y México no ha permanecido al margen.

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano en Estocolmo en junio de 1972 la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y sus Recursos utilizó las conclusiones del Club de Roma como base de sus planteamientos. En esta declaración se proclamó que los conocimientos y las acciones del hombre se utilizarán para conseguir mejores condiciones de vida, pero estableciendo normas y medidas que evitaran que se cau-

saran daños al medio ambiente. Se establecen 26 principios para la utilización racional de los recursos en beneficio de las generaciones presentes y las futuras. En noviembre de ese mismo año la Conferencia General de la UNESCO aprobó en París la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, en donde se establecen las formas en que el hombre interactúa con la naturaleza y la necesidad fundamental de preservar el equilibrio entre la humanidad y el patrimonio cultural y natural.

Otro importante paso tomado por muchas naciones del mundo, entre las que estaba México fue la proclamación por la Asamblea de las Naciones Unidas de la “Carta Mundial de la Naturaleza” en 1982. En esta se acepta

que el deterioro de los sistemas naturales y el abuso de los recursos naturales debilitan las estructuras económicas, sociales y políticas de la sociedad de modo que establece la necesidad de promover a nivel internacional la protección de la naturaleza.

A escala internacional se han celebrado conferencias así como convenciones que han tenido un peso determinante en el manejo de decisiones y acciones para mitigar los efectos del cambio climático y la búsqueda de un desarrollo sostenible y México no ha permanecido al margen.

En noviembre de ese mismo año la Conferencia General de la UNESCO aprobó en París la Convención sobre la Protección del Patrimonio Mundial Cultural y Natural, en

donde se establecen las formas en que el hombre interactúa con la naturaleza y la necesidad fundamental de preservar el equilibrio entre la humanidad y el patrimonio cultural y natural.

En 1992 tiene lugar La Cumbre de la Tierra en Rio de Janeiro. Fue la más grande realizada hasta el momento con la asistencia de 179 países. La Declaración de Río, resultante de la Conferencia, consagra 27 principios en los que establece el derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza, el derecho de los países a aprovechar sus propios recursos de acuerdo a sus políticas ambientales y de desarrollo con la responsabilidad de no causar daños al medio ambiente y su protección, como parte integrante del

proceso de desarrollo y no como una actividad aislada. Además, se reconoce el papel que los países desarrollados han tenido al contribuir a la degradación del medio ambiente, por lo que se conmina a eliminar las modalidades de producción y de consumo insostenibles y a fomentar políticas demográficas adecuadas.

En la Cumbre de la Tierra se suscribe el documento "Agenda 21", el cual es un Manual de Referencias y Normas políticas para el logro de un desarrollo sustentable. aquí se establece que el desarrollo sostenible y la protección al medio ambiente deberán considerarse como parte integrante del proceso de desarrollo y no como parte aislada. El principio 8 de la propia declaración esta-

blece que para alcanzar el desarrollo sostenible se deben eliminar las modalidades de producción y consumo insostenibles así como fomentar políticas demográficas adecuadas. De igual manera se acuerda establecer leyes eficaces sobre el medio ambiente, pues se reconoce que las normas aplicadas por algunos países pueden resultar inadecuadas y presentar un costo social y económico injustificado para otros países, en particular los países en desarrollo. En 1997 se adopta la Declaración de Nairobi en la que se establece que el PNUMA debe seguir siendo el órgano de las Naciones Unidas para atender los problemas ambientales del planeta y la principal autoridad ambiental mundial.

En mayo del año 2000 tiene lugar la

Declaración de Malmö, firmándose en el Primer Foro Global Ministerial del Medio Ambiente. En esta se establece que el medio ambiente y los recursos naturales que sostienen la vida en el planeta, a pesar de las medidas implementadas en la Cumbre de la Tierra, continúan deteriorándose a una velocidad alarmante, y que se debe prestar atención al consumo no sostenible entre los sectores más ricos de todos los países.

Entre los acuerdos Internacionales Principales firmados entre 1965 y 2000, destacan tres a partir de la cuales se establecen principios y lineamientos que acuerdan seguir los Estados firmantes en aras de proteger el Medio Ambiente y preservar los recursos naturales para el beneficio de la

población mundial y las generaciones futuras.

Entre convenciones, acuerdos, convenios, protocolos, anexos y enmiendas, México ha firmado 77 tratados internacionales o acuerdos inter-institucionales en materia de medio ambiente, de ellos, hasta 1969 se firmaron tres, diez durante la década de 1970, veintitrés durante la década de 1980, cuarenta durante la década de 1990 y uno más en el año 2000.

La gráfica muestra una relación entre los principales acuerdos internacionales realizados para mitigar los efectos del cambio climático, proteger el medio ambiente y fomentar un desarrollo sostenible, y la actividad específica de México en estas áreas (Ver Fig.

1.2.1).

Al realizar una comparación se pudo observar que en torno a la realización de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, México firma entre los años 1971, 1972 y 1973; luego de un receso de casi 30 años en el tema medioambiental, 7 acuerdos internacionales respecto a este asunto.

De igual manera se observa que entre 1985 y 1997 se incrementó considerablemente la actividad política de México respecto al cuidado del Medio Ambiente y al desarrollo sustentable. Es en este período en que se firman 54 acuerdos internacionales que representan el 70% de los acuerdos firmados entre 1934 y el año 2000.

En 1995 se firmaron 8 acuerdos, siendo el año en que se registra mayor actividad.

En 1990 y 1992 se firmaron 7 acuerdos cada año. En particular el año 1992 fue de gran actividad política, correspondiente a la presentación de la “Agenda 21”.

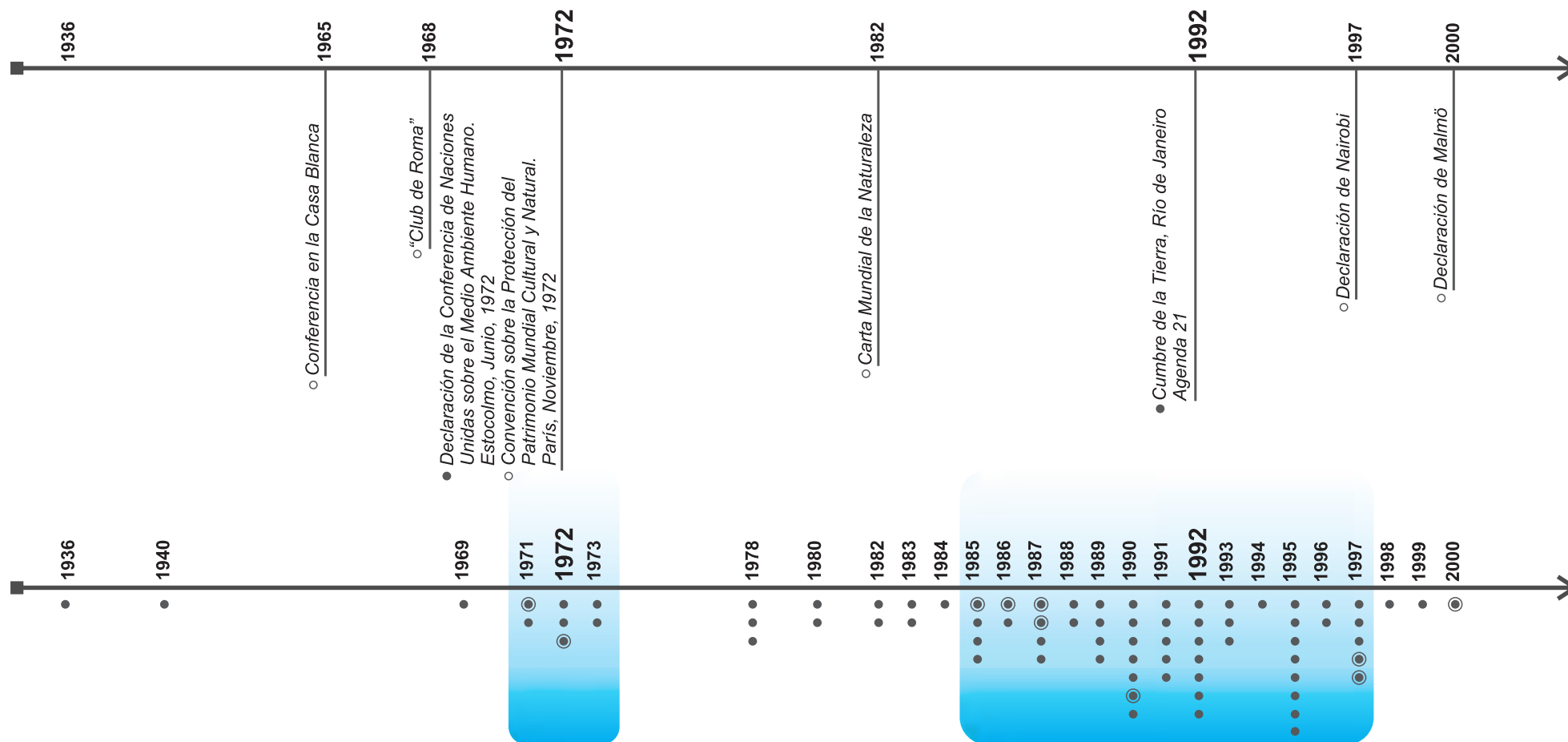
Es en los períodos identificados de mayor actividad, dígame 1971-1973 y 1985-1997, en que se firmaron la mayoría de los acuerdos que implicaron modificaciones en leyes, regulaciones y normas para la protección del medio ambiente.

Este análisis nos permitió aclarar que México no se ha quedado de brazos cruzados ante los problemas que alarman a la comunidad internacional, teniendo una activa participación en la esfera política.

Fig. I.2.1_ Relación de tratados internacionales relevantes y acuerdos firmados por México. Elaboración propia.

Acuerdos Internacionales Fundamentales

● Acuerdos a partir de los que se establecen principios, lineamientos o normas políticas para el logro de un desarrollo sustentable.



Acuerdos en los que ha participado México

● Acuerdos a partir de los cuales se modifican políticas, leyes o normas relacionadas con el desarrollo sustentable.

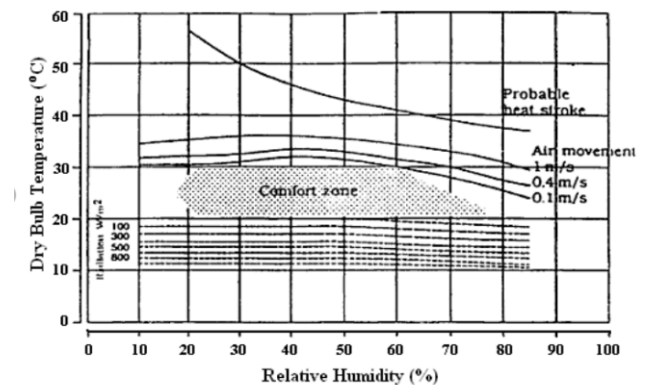
I.3_Desarrollo de la arquitectura ecológica en México

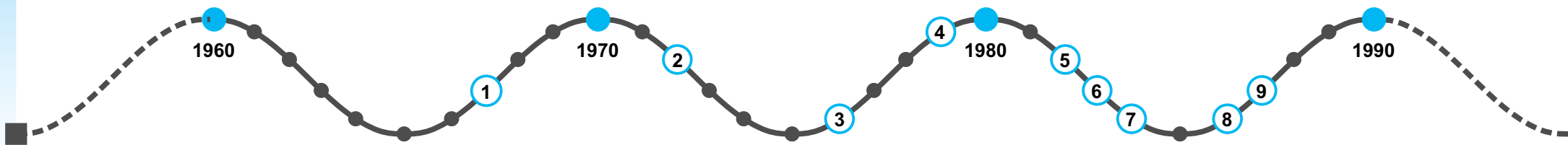
La actividad política internacional, los acontecimientos culturales, así como las condiciones sociales y medioambientales fueron germen de interés en la arquitectura ecológica de la academia de arquitectura en México. El trabajo de investigadores y arquitectos derivó en metodologías y propuestas de diseño que han llegado hasta nuestros días. La profesora Eunice Avid resume los principales aportes abarcando la línea del tiempo desde la década de 1960 hasta el 2015 (Avid, 2015).

En la década de 1960 comenzó un interés

peculiar por el estudio de la bioclimática en la Arquitectura. En 1963 los hermanos Olgyay proponen el término Diseño Bioclimático tratando de enfatizar los vínculos entre la vida y el clima con el diseño, también exponen el método a través del cual el diseño arquitectónico se desarrolla respondiendo a los requerimientos climáticos específicos. Los primeros estudios del bioclima en México los realizó Ernesto Jáuregui, quien como pionero en el área desarrolló temas del desarrollo urbano de ciudades en el trópico, con enfoque bioclimático.

Fig I.3.1_ Carta bioclimática de los hermanos Olgyay





1 1967 se instalan los primeros sistemas fotovoltaicos en México.

Los hermanos José y Jesús Arias Chávez construyen la primera casa ecológica autosuficiente de México, llamada “proyecto Xochicalli”, en San Vicente Chimalhuacán, Municipio de Ozumba.

2 1970 Everardo Hernández trabajaba sobre la factibilidad del aprovechamiento en México de la energía solar para satisfacer requerimientos habitacionales, preocupado principalmente por la climatización pasiva de la vivienda de interés social.

3 1972 se inician los estudios para el aprovechamiento de la energía solar en el Centro de Investigaciones de Materiales de la UNAM.

4 1976 se crea la asociación Nacional de Energía Solar (ANES).

5 1979 en la Universidad de Guadalajara, José Luis Alcalá y Enrique Flores experimentan con propuestas de climatización pasiva de edificios en el valle de Atemajac, a través del diseño, construcción y monitoreo de una vivienda prototipo en las instalaciones de la facultad de Arquitectura de dicha Universidad.

6 1980 En la Universidad Autónoma de Baja California se pone en marcha la Maestría en Arquitectura Solar.

7 1982 se publica el libro “Ecodiseño”^[2], autoría de Fernando Tudela y editado por la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Xochimilco.

8 1983 se impartió el primer seminario en México sobre Eco-técnicas para la vivienda por el Arq. Armando Deffis Caso, tratando temas de: Acondicionamiento climático, calentamiento solar de agua, ahorro de energía, captación y infiltración pluvial.

9 1984 el Arq. Pedro Moctezuma Díaz Infante diseña la torre ejecutiva PEMEX, el primer edificio “inteligente”^[3] en México.

10 1986 el Arq. Armando Deffis Caso funda la sociedad de Arquitectos Ecologistas de México y se crea a su vez el Centro de Investigación en Energía (CIE)^[4], uno de los centros de investigación más importantes de México.

11 1987 Gabriel Gómez Azpeitia inicia la Maestría en Diseño Bioclimático, en la facultad de Arquitectura y Diseño de la Universidad de Colima.

La Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco (UAM-A) imparte un curso sobre arquitectura bioclimática y energía solar.

12 1991 Ruth Lacomba publica el “Manual de Arquitectura Solar”

13 1992 el Instituto Mexicano del Seguro Social, emite normas bioclimáticas para las construcciones de los hospitales y clínicas.

14 1993 el Ing. David Morillón Gálvez, quien en 1993 comienza a hacer escritos, libros, artículos y publicaciones acerca del bioclimatismo.

15 1994 México se hace parte de la Comisión Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

16 1995 el IMMS crea su programa para el ahorro de energía en iluminación y aire acondicionado.

El Arq. Rolando J. Dada y Lemus diseña el primer museo ecológico del mundo “El museo de sitio de

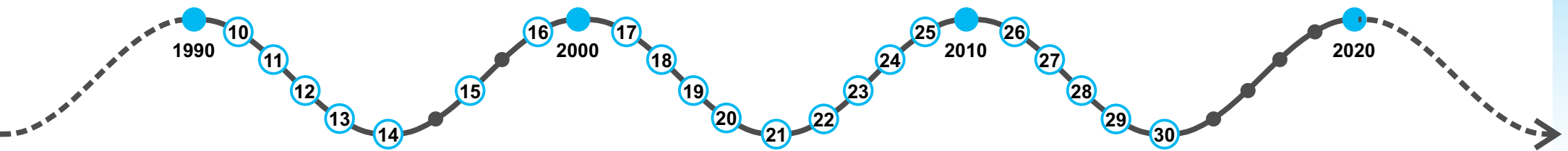
Xochicalco con un diseño sustentable y casi autónomo.

17 1997 el Arq. Armando Deffis Caso publica “La casa ecológica autosuficiente para climas templado y frío” y “El Oficio de la Arquitectura” que ilustra su desarrollo profesional, descrito desde sus primeros proyectos siendo estudiante de la UNAM.

[2]_ Documento básico de conocimientos elementales sobre bioclima y diseño, tratando de sentar las bases para una toma de conciencia y cambio de actitud respecto al diseño y la tecnología.

[3]_ Posee elevadores que detienen su paso cuando se registra un sismo (soporta hasta uno de 8.5 grados en la escala de Richter), y posee un sistema de volumen variable de aire, con otro de generación y distribución de agua y de extracción sanitaria.

[4]_ Ahora Instituto de Energías Renovables.



16 1999 el Arq. Armando Deffis Caso publica “Energía: fuentes primarias de utilización ecológica” y “Casas del Sol: residencias ecológicas autosuficientes”

2000 Se funda el Taller Ecológico por Jorge Calvillo Unna, en el que actualmente se desarrollan proyectos arquitectónicos, urbanos y educativos, con criterios de sustentabilidad.

17 2001 se publica el libro “Introducción a la Arquitectura Bioclimática” por Manuel Rodríguez Castrejón, Víctor Fuentes Frexanet, Gloria Castorena Espinosa, Verónica Huerta Velázquez, José Roberto García Chávez, Fausto Rodríguez Manso y Luis Fernando Guerrero Baca.

18 2002 se publica “La casa ecológica” por Jorge Calvillo Unna, donde comparte los beneficios de la construcción de casas con un diseño que implique la integración de múltiples sistemas como los ciclos del agua, la vegetación, el aire, la tierra, el sol y el clima, no solo ocuparse del diseño arquitectónico.

Surge la REMAB (Red Mexicana de Arquitectura Bioclimática).

19 2003 el Ing. David Morillón Vázquez encabeza “La casa nueva/ La comunidad nueva” un proyecto internacional que consideraba elementos de la arquitectura bioclimática, así como energías renovables y eficiencia energética en las viviendas.

20 2004 el Ing. David Morillón Vázquez publica el “Atlas del Bioclima de

México” para la biblioteca de la UNAM.

La Arq. Ruth Lacomba publica “La ciudad sustentable”, donde genera criterios de diseño urbano-ambiental

21 2005 nace el Consejo Mexicano de Edificación Sustentable (CMES).

El primer proyecto certificado LEED en México fue el edificio de oficinas “Centro Internacional de Negocios” (Ciudad Juárez, Chihuahua) se acreditó con una certificación LEED para construcción nueva, nivel básico.

México participa en la firma del protocolo de Kioto.

Surge el Instituto Mexicano del Edificio Sustentable (IMES).

22 2006 se ofrece por primera vez la maestría en Diseño de Arquitectura Sustentable en la Universidad Gestalt de

Diseño, Xalapa, Veracruz. El Ing. David Morillón Gálvez desarrolló y asesoró el proyecto piloto “La vivienda sustentable”, para el cual se consideró la construcción de 5000 viviendas, por parte de la CONAVI.

23 2007 la torre HSBC, en Ciudad de México obtuvo la primera certificación LEED-NC Nivel Oro.

24 2008 la comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) reemplaza a la CONAE a partir de la entrada en vigor de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía.

El Gobierno del Distrito Federal puso en marcha el “Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables” (PCES), que pretende establecer un estándar para calificar los

edificios tanto habitacionales como comerciales.

25 2009 se introdujo en México la certificación internacional Living Building Challenge.

2010 el INFONAVIT crea el programa “Hipoteca Verde” que disminuye los consumos de agua, luz y gas, ahorra dinero y contribuye a evitar que se agoten los recursos naturales.

26 2011 el Ing. David Morillón Gálvez publica “Edificación sustentable en México: Retos y Oportunidades”

Las oficinas de la empresa consultora “Bioconstrucción y energía alter-

nativa” (Monterrey N.L) reciben la primera certificación LEED Nivel Platino en México.

27 2012 se promulga la Ley General de Cambio Climático.

28 2013 la SEMARNAT publica la Norma Mexicana de Edificación Sustentable (NMX-AA-164-SCFI-2013)

29 2014 se inaugura en Chihuahua el primer edificio público autosustentable de México.

30 2015 SEMARNAT y CMIC firman convenio para impulsar edificaciones sustentables, promoviendo la aplicación de la normatividad vigente en México.

Fuente: Avid, E. (2015) Línea del tiempo de la Arquitectura Ecológica en México. <https://prezi.com/kl1ph4dyey49/historia-de-la-arquitectura-ecologica-en-mexico/>.

I.4_Bioclimática, diseño ecológico y fuentes renovables de energía en la arquitectura sustentable.

Una propuesta de arquitectura sustentable, tal como hemos mencionado en este trabajo, busca el menor consumo de recursos y la coexistencia con el medio sin impactarlo negativamente, de modo que no perjudique el desarrollo de las generaciones futuras.

Desde 1993, la Unión Internacional de Arquitectos en el congreso “Declaración de interdependencia por un futuro sostenible” reconoció el principio de sustentabilidad como pauta de progreso y se comprometió a incorporarlo como parte del quehacer profesional de la arquitectura. A raíz de este con-

greso hubo consenso en que deben considerarse 5 factores para aplicar los principios de sustentabilidad en la arquitectura (Chan López, 2010):

- 1.El ecosistema
- 2.Las energías
- 3.La tipología de los materiales
- 4.Los residuos
- 5.La movilidad

En 1998 la escuela de Arquitectura y Planeación Urbana de la Universidad de Michigan publicó el documento de Introducción a la arquitectura sustentable,

donde se sintetizan los 3 principios de la arquitectura sustentable (Kim, 2008):

- 1.La economía de recursos, que se refiere a la reducción, la reutilización y el reciclaje de los recursos naturales utilizados en el edificio
- 2.El diseño por ciclo de vida del edificio, que analiza los procesos de edificación y su impacto en el medio ambiente
- 3.El diseño en relación al usuario, con enfoque en la interacción entre hombre y el medio natural

Desde la teoría y la práctica se han abordado varios conceptos de diseño y estrate-

gias que persiguen lograr un desarrollo sostenible y responden a los principios de la sustentabilidad en la arquitectura.

El diseño bioclimático en la arquitectura tiene como objetivo el aprovechamiento de los elementos pasivos del clima a favor del confort interior de los espacios y del ahorro de recursos. Ruth Lacomba (2009) definió la arquitectura bioclimática como aquella que se proyecta y construye con el menor impacto ambiental, que proporciona confort térmico, lumínico y que además logra ahorros de energía y agua; aquella que se construye de acuerdo al clima y al suelo donde se asentará y responde a la temperatura, a la humedad y a los vientos de la región para lograr de esta manera grandes ahorros de energía.

El diseño bioclimático tiene como premisa la honestidad^[5], obteniendo productos limpios que respetan el contexto y el paisaje; se refiere específicamente a la intención de adaptar la propuesta al clima, aprovechando sus ventajas para el confort de los espacios y proponiendo soluciones desde el diseño que mitiguen los efectos adversos.

La construcción ecológica como concepto abarca la construcción como proceso y al edificio como un sistema cerrado. El diseño ecológico busca entender los ciclos de vida desde las fases previas al diseño conceptual, lo que permite seleccionar sistemas constructivos y materiales teniendo en cuenta su grado de toxicidad, lugar de procedencia y destino final en el sistema.

La construcción ecológica busca que el edificio funcione lo más parecido a cualquier sistema en la naturaleza, en el que entran recursos, pero una vez dentro pasan a formar parte de otros procesos dentro del mismo sistema.

Previo a la era tecnológica las propuestas de diseño y construcción eran un poco más amables ambientalmente. La fuerza de diseños descontextualizados, la importación de tecnologías y técnicas con fines económicos, la globalización, la especulación y ostentación de recursos, propiciaron que se fueran

[5]_ El diseño honesto implica el rechazo a lo gratuito y a la implementación de tecnologías innecesarias, al realizar propuestas desde el diseño que obtengan los mismos fines de una forma más sencilla y económica (De Garrido, 2010).

ignorando cada vez más las propuestas tradicionales recayendo en productos de arquitectura costosos y de elevado impacto ambiental negativo antes, durante y después de la construcción.

En ese sentido la arquitectura ecológica pretende conservar los ecosistemas naturales con objeto de que puedan seguir suministrando servicios; disminuir el consumo de energía, de suelo, de materiales; contaminar menos; cerrar ciclos como el del agua y reducir drásticamente el transporte horizontal de energías (Hernández, 2013).

Otra de las prácticas en las propuestas de arquitectura sustentable es el diseño de edificios integrando las fuentes renovables de energía. La energía solar, geotérmica, la bio-

masa, la energía eólica, son algunas de las fuentes de energía que se pueden aprovechar desde la arquitectura ya sea de una manera pasiva o activa (mediante el empleo de tecnología) con el fin de reducir el consumo así como disminuir el impacto medioambiental negativo.

El aprovechamiento de las fuentes renovables de energía puede reducir notablemente la demanda energética, reducir el consumo e incluso, en caso de un rendimiento óptimo, producir energía para apoyar el sistema de suministro local.

En general la práctica del diseño arquitectónico sustentable se centra en el diseño bioclimático, el diseño ecológico y el diseño con los recursos energéticos renovables.

Mediante este proyecto de investigación se pretende elaborar una metodología que integre las técnicas y procedimientos que proponen estos 3 conceptos, a fin de crear una herramienta que facilite la aplicación de los principios de la arquitectura sustentable en la Ciudad de México.

I.4_Arquitectura sustentable

I.4.1_Uso de fuentes renovables de energía

Dependiendo de los recursos naturales utilizados se distinguen diferentes tipos de energías renovables.

La energía solar es una de las más utilizadas y estudiadas por la ciencia. Se aprovecha a partir de sistemas pasivos, que son aquellos que aprovechan el Sol, las brisas, la vegetación y el manejo de los espacios arquitectónicos, sin depender de sistemas electromecánicos para crear un microclima interior adecuado. Las principales ventajas de aplicar sistemas pasivos son económicas, al ahorrar en combustibles, y aportan un mayor bie-

nestar ambiental, agua caliente, temperatura agradable, luz natural, así como comodidad fisiológica y psicológica (Lacomba, 1991).

Los sistemas pasivos en la arquitectura solar se han abarcado por la rama del diseño bioclimático, tema que profundizaremos en el acápite I.4.3.

Los sistemas activos de energías renovables funcionan con base en una energía de fuente renovable y otra convencional (gas, electricidad, diésel, y otros) de modo que el sistema opera con ambas y no con una sola fuente energética. En estos sistemas se

emplea un sistema de captación y el resto es de distribución y almacenamiento. Los sistemas solares, tanto activos como pasivos, incluyen técnicas y procesos de enfriamiento, calefacción, ventilación, iluminación, humidificación, deshumidificación y calentamiento de agua (Lacomba, 1991).

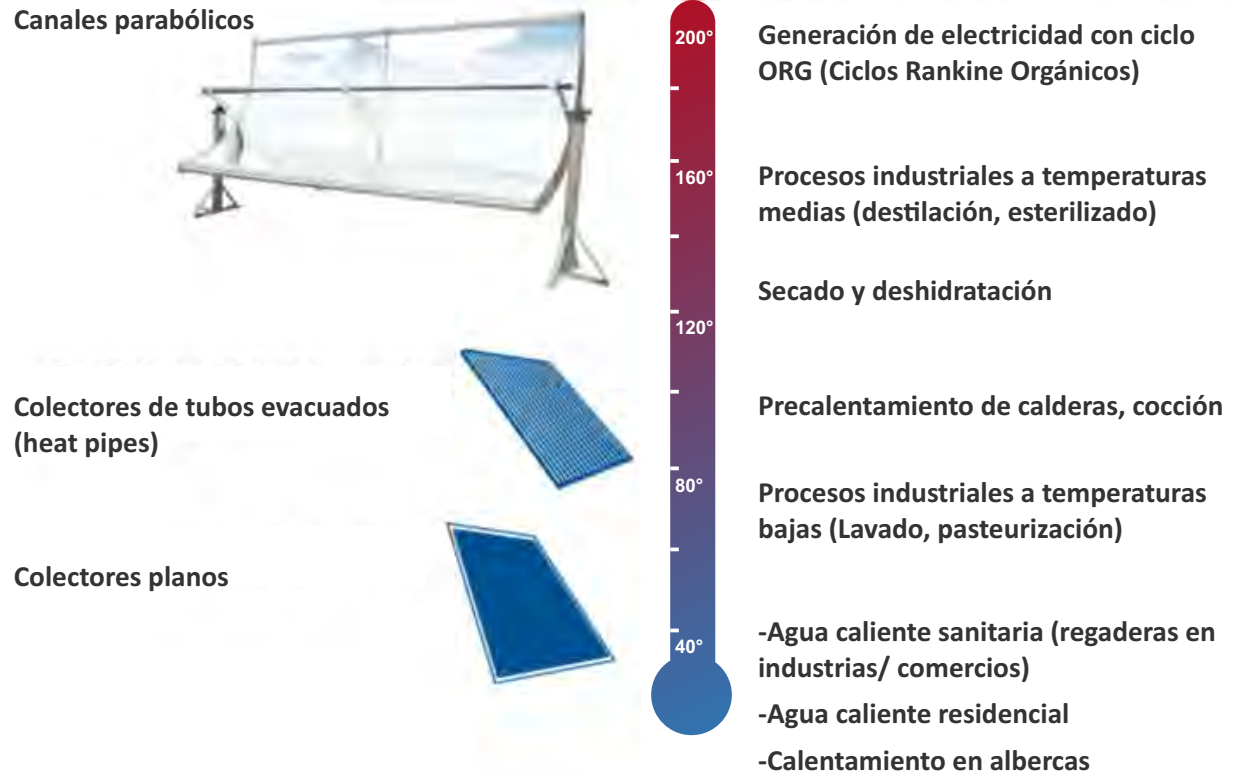
Energía solar térmica

La energía solar térmica llega a nosotros en forma de radiación y se aprovecha como energía útil a través de sistemas solares que captan la señal infrarroja de la radiación solar, transformando esta en energía térmi-

ca. La tecnología actual permite calentar el agua hasta convertirla en vapor y posteriormente producir energía eléctrica (Ruzafa Otón, 2009). A escala industrial algunas de las tecnologías que se emplean son: el reflector lineal de Fresnel, el concentrador de torre, el disco parabólico y los canales parabólicos (García Pérez, 2016).

El siguiente esquema tomado del artículo “El empleo de la energía solar térmica en México” muestra la correspondencia entre el tipo de tecnología y el uso requerido, ya sea para la industria o para objetos arquitectónicos comerciales o domésticos. El panel colector plano es el más popular en proyectos de arquitectura de requerimientos no industriales.

Fig I.4.1_Relación de tecnologías de captación de energía solar térmica de acuerdo a las necesidades.



Fuente: <https://ccee.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/el-empleo-de-la-energia-solar-termica-en-mexico>

Entre los beneficios de esta tecnología encontramos la reducción del consumo de combustibles en un 80%, la reducción de costos energéticos y una reducción significativa de emisiones de CO₂ en los procesos de generación de energía térmica. Resulta una tecnología atractiva con retornos de inversión muy cortos (García Pérez, 2016).

Energía solar

Procede del sol y llega a nosotros en forma de radiación electromagnética. Es transformada en energía útil a través de sistemas fotovoltaicos, dispositivos electrónicos capaces de generar energía eléctrica de forma directa, al recibir luz solar. Este sistema es ventajoso en el sentido que no afecta directamente el ambiente, los paneles se ensam-

blan modularmente siendo de alta confiabilidad. La energía eléctrica generada puede ser aprovechada de dos formas: para verterla en la red eléctrica general de la ciudad o para ser consumida en lugares aislados, donde no llega la infraestructura de la red eléctrica convencional. Reduce directamente el consumo de combustibles fósiles y por tanto los niveles de emisión de CO₂ a la atmósfera. La tecnología es en un inicio costosa, pero el retorno de la inversión se percibe rápidamente en ahorro de gastos por consumo de energía. La compañía Acciona asegura que los costos de producción de un panel solar se habían reducido en un 60% en 2016 (MONARQ, 2016). Otro beneficio apreciable radica en que la implantación de estas tecnologías

generalmente es fuente de empleo.

Energía eólica

La energía eólica es el resultado de la transformación de la energía cinética del viento en energía eléctrica, a través de uso de aerogeneradores. Frecuentemente los aerogeneradores se agrupan en parques eólicos, para verter a la red eléctrica toda la energía generada por los gigantescos equipos. La energía producida es totalmente limpia. Los aerogeneradores también se utilizan en menor escala para generar la electricidad que requiere una vivienda, o en los sembrados para extraer agua del subsuelo y regar las plantaciones.

En edificaciones comerciales se utilizan aerogeneradores pequeños, capaces de pro-

ducir una cantidad de energía algo inferior a los 100kw y en viviendas se utilizan aerogeneradores domésticos de baja potencia (10kw), que se utilizan generalmente para alimentar equipos de bombeo de agua.

Un grupo de ingenieros de Hong Kong fabricaron unas microturbinas eólicas capaces de generar electricidad con vientos de hasta dos metros por segundo, siendo tan pequeñas que pueden ser colocadas en cualquier techo o incluso balcones o terrazas (inarquia, 2019).

Sobre las edificaciones altas las corrientes de aire son mucho más fuertes y estables. Aprovechando esa condición, y la arquitectura en forma de vela de las torres, se instalaron 3 turbinas eólicas en el Bahrein World

Trade Center las cuales producen entre el 11 y el 15% de la energía necesaria para el funcionamiento del complejo edificado (inarquia, 2019).

Energía de la biomasa

La energía proveniente de la biomasa ha sido la fuente más utilizada por el hombre a lo largo de la historia, principalmente en la quema de leña de árboles o de paja de cereales. La energía de la biomasa o biocombustible es de procedencia completamente natural, y es renovable. Se produce en terrenos agrícolas y forestales y es capaz de absorber y fijar el dióxido de carbono (Ruzafa Otón, 2009).

Los biocombustibles o biocarburantes son mezclas que se obtienen de procesos orgáni-

cos y su combustión es utilizada para la producción de energía. Derivan de la biomasa, que no es más que materia orgánica resultado de procesos naturales como la fotosíntesis.

Una de las ventajas de los biocombustibles es que reducen el consumo de recursos fósiles y que la producción de CO₂, que es igual a la de combustibles fósiles, se recicla en el proceso natural de su producción. Se obtienen en estado sólido, líquido o gaseoso y provienen de la materia natural, tanto vegetal como animal.

Ventajas del empleo de biocombustibles: (Moriana, 2018b):

1. El costo es inferior al de la gasolina ante el empleo de una tecnología de produc-

ción generalizada. La fuente principal de materias primas son los residuos orgánicos.

2. Los procesos de producción son más eficientes, consumen y contaminan menos.

3. Constituyen una fuente menos limitada que los combustibles fósiles, que cuentan con un tiempo de regeneración de miles de años.

4. Son fuente de empleo a nivel local.

5. Las emisiones de carbono y azufre son más reducidas.

6. Las cantidades de basura disminuyen, pues gran parte de ella podrá emplearse en su producción.

7. El nivel de seguridad es mayor en cuanto al manejo y almacenamiento en comparación con los combustibles fósiles.

Siendo altamente ventajosos, la producción de algunos tipos de biocombustibles no está exenta de contaminar (Moriani, 2018b):

1. A causa de los fertilizantes nitrogenados empleados en los campos de cultivo, algunos de los biocombustibles de origen vegetal pueden provocar un aumento de emisiones de óxido de nitrógeno que puede producir contaminación en las aguas subterráneas con nitritos y nitratos.

2. Los biocombustibles proporcionan menos energía que los combustibles fósiles ante iguales volúmenes de material, por lo que para igualar los niveles energéticos se requiere mucha más materia prima.

3. Algunos autores consideran que el empleo de campos de cultivo para especies

vegetales destinadas a la producción de biocombustibles reducen los campos de cultivo para la alimentación humana, haciendo que el precio de los alimentos suba.

4. Al necesitar mayores superficies de cultivo se produce la pérdida de áreas forestales, consumidoras de CO₂.

5. Se necesitan grandes cantidades de agua para regar estas plantaciones.

6. Durante la producción de biocombustibles se requiere el uso de combustibles fósiles, por lo tanto es necesario lograr un balance positivo de emisión de CO₂ a la atmósfera.

Biodigestores en viviendas rurales y suburbanas:

Una de las tecnologías desarrolladas para

obtener energía a partir de la biomasa son los biodigestores. Se instalan generalmente en pequeña escala al nivel de las viviendas. Consisten en contenedores sellados donde se introducen materias orgánicas de desecho que son sometidas a un proceso de biodigestión anaerobio para obtener al final del proceso Biol (tipo de biofertilizante) y biogás en el ínterin.

Con esta tecnología se satisfacen diferentes necesidades: el biogás se utiliza en la cocción de alimentos, iluminación, calefacción, calentamiento de agua y producción de electricidad; y el Biol como fertilizante y regenerador de suelos.

Energía hidráulica:

Es una fuente de energía renovable o alter-

nativa que se obtiene de la transformación de la energía cinética o la energía potencial gravitatoria contenida en las grandes masas de agua en movimiento. La energía mecánica se transforma en energía eléctrica a través de un generador eléctrico gracias al fenómeno de la inducción electromagnética. La capacidad de generación de electricidad de algunas hidroeléctricas es suficiente para abastecer poblaciones completas.

La energía hidroeléctrica tiene grandes ventajas frente a la obtenida mediante la quema de combustibles fósiles respecto a la contaminación que produce, pero la construcción de presas, cuencas o grandes depósitos artificiales tiene cierto impacto ambiental. En los casos donde no se han tenido en

cuenta estudios de impacto ambiental los efectos han sido devastadores para la naturaleza, modificando o destruyendo definitivamente ecosistemas completos. Tal es el caso de la construcción de la gran presa de Asuán en Egipto.

Energía geotérmica:

Se obtiene del adecuado aprovechamiento del calor de la tierra. A determinadas profundidades las temperaturas de la tierra se mantienen estables durante todo el año, lo que las convierte en un recurso ampliamente aprovechable. Se emplea en viviendas y edificios comerciales cuando la temperatura del subsuelo permanece entre 20°C y 70°C (energía de baja y muy baja temperatura (Morian, 2018a)). A temperaturas mayores (en-

tre 150°C y 400°C), la energía geotérmica se utiliza en centrales eléctricas para la generación de energía a mayor escala.

La energía geotérmica es una fuente de energía limpia, ecológica, de producción continua y gestionable que permite refrigerar, calentar y obtener agua caliente sanitaria por medio de la misma instalación, aprovechando el calor del suelo para climatizar de forma ecológica, permitiendo la reducción de las emisiones de CO₂.

Los sistemas geotérmicos de climatización están compuestos por tres elementos: una bomba de calor (BCG), un circuito exterior y uno interior. El circuito exterior extrae el calor del terreno y con la bomba de calor (situada generalmente en un cubículo cerrado)

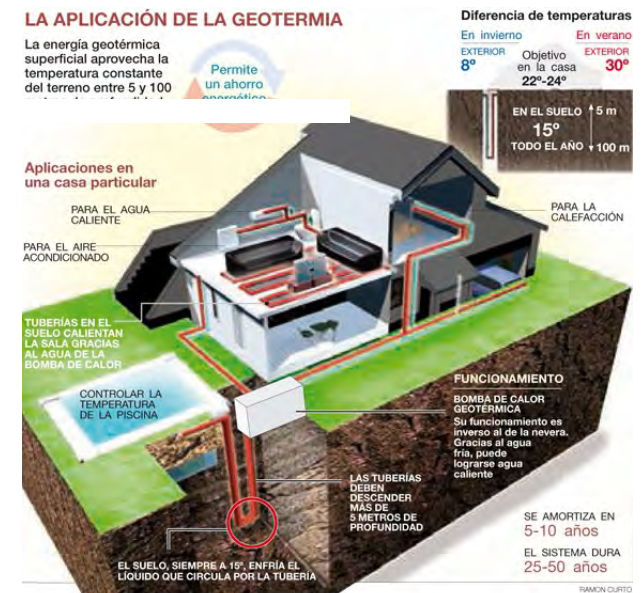
se transmite calor a la edificación en invierno, mientras que en verano a través del mismo sistema se extrae el calor de la edificación para disiparlo en el subsuelo (Sánchez-Casado, 2016).

Al igual que otros sistemas la climatización con energía geotérmica posee ventajas y desventajas que se relacionan a continuación (Moriana, 2018a):

Ventajas:

1. Es un recurso renovable, siempre que su tasa de extracción sea inferior a la tasa natural de recarga. De extraerse agua caliente de los mantos acuíferos, es preciso regresarla en forma de agua fría para evitar que los yacimientos se sequen y se pierda el recurso.
2. Se considera una energía limpia, pues

Fig 1.4.2_Aplicación de la geotermia en una vivienda.



Fuente: https://www.tiovivocreativo.com/wp-content/uploads/2016/11/Vivienda-con-climatizaci%C3%B3n-geot%C3%A9rmica.Esquema.icasasecológicas.com_.jpg

reduce el consumo de combustibles fósiles y otros recursos no renovables.

3. Apenas produce residuos, lo que reduce en gran medida el impacto ambiental.

4. La emisión de CO₂ de efecto invernadero es mucho menor a la que se produce por la combustión de combustibles fósiles para obtener la misma energía, por lo que apenas contribuye al calentamiento global.

5. Supone un ahorro puesto que el costo de la producción de electricidad es bajo.

Desventajas:

1. Bajo desarrollo al ser una energía que está comenzando a utilizarse.

2. Pueden producirse fugas en las que se expulsa ácido sulfhídrico (en elevadas dosis es letal para el hombre), arsénico, am-

niaco, u otras sustancias que pueden producir contaminación del terreno u aguas cercanas.

3. Las plantas o centrales geotérmicas deben instalarse en lugares donde el calor del subsuelo sea elevado. Esta energía no es transportable y debe utilizarse in situ.

4. Produce un impacto en el paisaje, puesto que la construcción de las instalaciones para extraer el calor de las rocas subterráneas y el magma implican modificaciones en el terreno.

5. Se producen pequeños sismos en zonas próximas a las plantas geotérmicas a causa del enfriamiento brusco y la rotura de las rocas de la corteza terrestre.

6. Contaminación térmica.

Contaminación acústica en fases iniciales donde es necesaria la perforación de pozos.

Se llegan a alcanzar hasta 115 decibelios, aunque una vez realizado su funcionamiento habitual no produce prácticamente ruido.

I.4_Arquitectura sustentable

I.4.2_Construcción ecológica. Materiales y procesos

Cuando se habla de construcción ecológica se hace referencia principalmente a la construcción como proceso. Para lograr que un edificio sea lo menos contaminante y agresivo al medio, debe intervenir en todas las etapas del proceso constructivo con un enfoque de sustentabilidad. Son tan importantes las etapas de anteproyecto y proyecto, como las de construcción, operación y desmontaje; es en las primeras etapas donde se toman decisiones que comprometerán el desarrollo de la obra. Por otro lado, la construcción ecológica persigue que el edificio sea sustenta-

ble en sí mismo y que genere la menor huella ecológica posible. De esto depende la orientación de la edificación, su emplazamiento y el contexto, la elección de los sistemas constructivos y principalmente de los materiales. Los materiales deben ser respetuosos, orgánicos, renovables y naturales en su proceso de fabricación preferentemente. El origen del material dicta un volumen de contaminantes, que sumado al proceso de traslado ahonda la huella ecológica.

a) La construcción como proceso

Se puede dividir el proceso de construc-

ción en 6 fases (a diferencia de otros tipos de proyectos que se engloban en 5 fases: iniciación, planificación, ejecución, seguimiento y finalización) (School, 2015). A pesar de que el proceso de diseño según otros autores que proponen dividir el proceso de diseño de otras maneras, se selecciona esta división.

Fase 1: Pre-diseño

La fase de pre-diseño es la más adecuada para incorporar los conceptos de sustentabilidad. Un acercamiento oportuno y temprano a estos criterios garantiza un proyecto más respetuoso con el medio y menos contami-

nante. En esta etapa se establecen compromisos y se estiman las ventajas y desventajas de llevar a cabo el proyecto. En esta fase se realizan las siguientes acciones: (School, 2015)

- Simulación de procesos
- Diseño conceptual
- Estimaciones
- Estudio de viabilidad
- Autorizaciones y aspectos legales
- Opciones de financiación
- Definición del alcance de proyecto
- Determinación del lugar de la obra
- Evaluación de licencias
- Evaluación tecnológica

Durante esta etapa se asienta el compro-

miso tanto del inversionista y de los usuarios finales como del equipo de proyecto involucrado en proceder con criterios de sustentabilidad. Se debe evaluar el lugar donde se asentará la obra de acuerdo a la proyección de un plan urbano (si existiese), teniendo en cuenta la infraestructura y vías de comunicación existentes. De igual manera se deberán valorar los recursos de los que se dispone a escala local para la construcción y las formas en que el nuevo proyecto puede apoyar a la economía y el desarrollo local.

Es en esta etapa y durante el diseño conceptual, que el equipo de proyecto bajo un enfoque de acción integrada, deberá incorporar las inquietudes de los habitantes locales y sus aspiraciones con el nuevo proyecto.

Se evaluarán las tecnologías que se disponen y se seleccionarán aquellas más beneficiosas para los propósitos del proyecto y así como las características del medio.

Fase 2: Ingeniería

Esta fase abarca las siguientes acciones: (School, 2015)

- Ingeniería “Front-End”
- Ingeniería de detalle
- Control de costos
- Planificación y programación
- Integración de sistemas
- Planificación de la seguridad

En la fase de ingeniería es fundamental el cruce de especialidades y el trabajo integrado^[7] de los profesionales involucrados. Un

buen trabajo de ingeniería Front-End puede prever pérdidas innecesarias de recursos y dinero. Un sistema BIM es una estrategia que permite acompañar todo el proceso del proyecto. En el 6to Diplomado de Métodos y Certificaciones para la Edificación Sustentable^[8], se llevaron a cabo sesiones de trabajo donde se comprobó la utilidad de un sistema BIM para la eficiencia de los proyectos de arquitectura.

El control detallado de la ingeniería del proyecto mediante estos sistemas garantiza el uso racional de los recursos, permite planificar y cotizar los materiales y el equipamiento, las etapas de ejecución a la vez que previene futuros errores que generalmente derivan en pérdidas en tiempo y dinero.

Fase 3: Abastecimiento

La fase de abastecimiento es crucial cuando se habla de construcción ecológica. En la etapa anterior del proceso se planifica detalladamente el proyecto, se definen los materiales que constituirán la edificación, es la fase donde se planifican los sistemas que requerirá el edificio para un buen funcionamiento y para garantizar la máxima eficiencia posible de los recursos en la etapa de explotación. Sin embargo, es en la fase de abastecimiento en la que se gestionan los materiales, se seleccionan los proveedores y se evalúan las ofertas. Es importante considerar los materiales de producción local, pero sobre todo, aquellos que cumplan con los parámetros de sustentabilidad, que no sean tóxicos o

generen huella ecológica.

Esta etapa comprende acciones como: (School, 2015)

- Gestión de materiales
- Planificación de requisitos
- Búsqueda de proveedores
- Evaluación de ofertas
- Control de calidad de proveedores
- Facturación
- Expedición

[7]_Trabajo integrado o proceso integrado implica establecer comunicaciones entre todos los profesionales y las partes interesadas durante toda la vida útil del proyecto. Este tipo de proceso rechaza los procesos de planificación y diseño lineales y aboga por la interacción entre disciplinas. Permite ahorrar tiempo y recursos al fomentar una comunicación directa y agrupar a todas las personas en sesiones de trabajo altamente productivas.

[8]_6to Diplomado Taller Internacional "Métodos y procedimientos de certificación y normatividad para la edificación sustentable" 23/8/2019-7/12/2019.

- Logística
- Funciones de almacén
- Gestión de contratos

Se deberá tener en cuenta la producción de los materiales, las fuentes y los proveedores así como la procedencia. El trayecto que debe recorrer un material desde el punto de fabricación hasta la obra es tan significativo como su composición. El traslado representa un gasto adicional de combustibles fósiles y por tanto, un agravante a la contaminación atmosférica. Desde la etapa de diseño de ideas conceptuales se debe planificar la logística de la ejecución de obra, los estudios del sitio y el territorio son los que arrojan las mejores condiciones para el traslado y el almacenaje de los materiales.

Fase 4: Construcción

Durante esta fase del proceso es que se genera el mayor volumen de contaminantes y donde se produce el mayor impacto al medio. Al comenzar los trabajos de construcción deben estar listos todos los estudios necesarios para afectar en menor medida el entorno y no modificar los flujos naturales del sitio. Se debe haber preparado la logística, se habrán planificado los destinos de los materiales y el tratamiento de los residuos, entre otros aspectos. Con el apoyo de un sistema BIM se ejecutarán los trabajos con precisión y se evitarán gastos y acciones innecesarios, de igual manera que sería útil en el control de calidad de las ejecuciones.

Durante la construcción se realizan las

siguientes actividades: (School, 2015)

- Gestión de la construcción
- Selección del personal
- Formación y capacitación del personal
- Abastecimiento de equipos y herramientas
- Recepción y control de materiales
- Control de los trabajos
- Control de calidad
- Aplicación de lo dispuesto en la programación de seguridad y salud
- Gestión de contratos

Fase 5: Puesta en marcha

La puesta en marcha es la fase que se destina a comprobar que el proyecto terminado funciona correctamente de acuerdo al diseño, comprobando todas las instalaciones y

sistemas. La puesta en marcha es la etapa a la que le corresponden los ajustes, a fin de corregir imperfecciones y para cumplir con la expectativa de los clientes. Cuando se respeta el diseño que originalmente ha seguido lineamientos de sustentabilidad, se garantiza que se cumplan los objetivos asegurando un mejor rendimiento.

Esta fase comprende las siguientes acciones: (School, 2015)

- Commissioning^[9]
- Soporte de ingeniería
- Control de sistemas
- Validación

En la fase de puesta en marcha resalta el proceso de commissioning, que por concepto, engloba los otros procesos mencionados.

La importancia de este proceso se reconoce en los sistemas de certificación. La mayoría de los sistemas de certificación que existen, lo contemplan como requisito obligatorio para la certificación.

El commissioning evalúa los sistemas de HVAC, Controles de Iluminación, los Sistemas de Distribución Eléctricos, los Sistemas Hidráulico-Sanitarios, los Sistemas de Producción de Energía Renovable, y la Envolvente del Edificio. Estos sistemas se evalúan con referencia a normas internacionales como el ASHRAE y NIBS (Revitaliza, 2018).

La puesta en marcha de un edificio es la fase del proceso que garantiza que todos los sistemas están en óptimas condiciones, cum-

plen con el diseño propuesto y por ende permite el máximo ahorro posible en energía y recursos en la siguiente fase de operación y mantenimiento.

Fase 6: Operación y mantenimiento

El ciclo de vida de un proyecto no concluye con la entrega llave en mano del inmueble. Este se extiende durante toda la vida útil del edificio que incluye el proceso de desmontaje. Lo ideal es que el diseño se conciba bajo el principio “Cradle to Cradle” (de la cuna a la cuna). Este concepto, inventado en la década de 1970 por Walter R. Stahel y populariza-

[9]_Commissioning: En inglés el término pues en español no existe equivalente aprobado por la RAE.

Es el proceso en que se evalúan y asegura que todos los sistemas y componentes de un edificio o planta industrial cumplan con el diseño, los requerimientos de operación y mantenimiento a fin de satisfacer las necesidades del cliente (Horsley, 1998).

do en 2002 por William McDonough y Michael Braungart en su libro de igual nombre, consiste en diseñar productos que una vez salgan de la línea de producción y se distribuyan al consumidor, puedan volver a sus orígenes de producción hasta con los proveedores que surtieron materias primas a las empresas fabricantes de los productos hacia su último consumidor (McDonough, 2002).

En el sistema de certificación Living Building se maneja el concepto “Cradle to Cradle” donde es requisito contemplar en el proyecto el origen de los materiales y su composición así como las tecnologías utilizadas de modo que prácticamente todo sea reutilizable o reciclable hacia el final de la vida útil del edificio o durante la misma.

La fase de operación y mantenimiento es crucial para aproximarse a un proceso sustentable. Todos los sistemas requieren constante revisión para garantizar su correcto funcionamiento. El plan de mantenimiento debe elaborarse una vez concluido el proyecto ejecutivo y comprenderá todos los equipos y sistemas tecnológicos que se utilicen. La revisión periódica evita fallas durante la operación del edificio y previene gastos a futuro, extendiendo la utilidad de los sistemas por más tiempo.

Un edificio es un sistema complejo, y es muy importante que los sistemas que lo operan se conserven en óptimas condiciones.

La fase de operación y mantenimiento incluye acciones como: (School, 2015)

- Programa de mejora de rendimiento
- Gestión de instalaciones
- Mantenimiento y operaciones en planta

Materiales

La construcción es un proceso que involucra directa o indirectamente a la tierra. Cada material empleado en la construcción, ya sea hierro, cristal, plástico, aluminio, u otros, son obtenidos de la tierra. Los materiales que utilizamos son los que hacen posible la edificación y cada uno de ellos contamina en mayor o menor medida durante su producción.

Tres de los aspectos que se deben considerar para seleccionar los materiales menos contaminantes son: (Vale, 1991)

1. Los requerimientos de energía para la

fabricación del material

2. Ahorro de energía que representa en el sistema durante su vida útil

3. Manufactura contaminante

Los materiales que se obtienen de la tierra son sometidos a procesos de refinación. Mientras más profunda es la localización del material, generalmente es más extenso el tratamiento al que se debe someter para la obtención del producto refinado. El proceso hasta llegar a las manos del productor es mucho más complejo, implica la extracción, la refinación, la fabricación y el transporte, pasos que devienen en consumos de energía. La suma de estos permite calcular la cantidad de energía involucrada en la producción de un material cuantificados en emisiones de

dióxido de carbono.

Al seleccionar un material, se debe tener en cuenta el gasto energético que generó su producción y su traslado. Sin embargo, para tomar la mejor decisión deberán analizarse los beneficios que aporta a corto y largo plazo la selección del mismo. Por ejemplo, el poliestireno expandido es un material que demanda una gran energía de fabricación, es un material contaminante; pero su uso como aislante en muros expuestos al sol puede reducir notablemente el uso de energía durante la vida útil de un edificio (Vale, 1991).

La tabla I.1 reúne los datos de emisiones de CO₂ por kg de material y por m² construido de un modelo constructivo habitual (MCH) (Mercader Moyano, 2010)

Un sistema constructivo habitual utiliza en general los materiales antes mencionados. De estos materiales los que mayor impacto negativo provocan en el medio son el aluminio, el neopreno, el cobre, así como los aditivos, disolventes y barnices, que además de arrojar CO₂ a la atmósfera contaminan en su mayoría con Compuestos Orgánicos Volátiles en inglés Volatile Organic Compounds (VOCs) que son nocivos para la salud humana.

El consumo de energía en la producción, distribución y uso de los materiales no es el único agravante al medio que ocasionan. Muchos materiales tienen una procedencia tóxica, que puede ser peligrosa para la vida durante la construcción de la edificación y

durante la vida útil del edificio. En la etapa de desmontaje y reciclaje los residuos de estos materiales tóxicos, en su mayoría, pasan a la superficie de la tierra contaminando los suelos y las aguas subterráneas.

Cuando se analiza la construcción como proceso y se tiene en cuenta todo el ciclo de vida desde un enfoque integrado es que se pueden tomar decisiones sobre la selección de los materiales.

Living Building Challenge (LBC), es un método de certificación de sustentabilidad que aboga por que los edificios se comporten como entes vivientes y sean capaces de regenerarse. Busca que el edificio como sistema se comporte como los sistemas vivos de la naturaleza, como sistema cerrado, donde los

Tabla I.1_Emisiones de CO₂ por kg de material y por m² construido de un modelo constructivo habitual (MCH) (Mercader Moyano, 2010).

CBMs representativos del MCH definido	EC _{CBM}	R*	ECm ²
	kgCO ₂ /kg	kg/m ²	kgCO ₂ /m ²
Acero estructural y laminado	2.80000	30.76	86.13
Acero cromado, esmaltado y galvanizado	3.78887	5.21	19.74
Aditivo, disolvente, barniz y aceites	13.77640	7.29	100.43
Aluminio (anodizado y lacado)	31.45454	0.99	31.14
Áridos	0.03000	467.19	14.02
Betún asfáltico	6.49700	1.67	10.85
Cartón yeso	0.47415	22.44	10.64
Cemento	0.41122	29.40	12.09
Material cerámico	0.17516	132.56	23.22
Cobre y cobre recocido	14.82539	0.63	9.34
Hormigón celular y prefabricados	0.45617	31.26	14.26
Hormigón prefabricado y suministrado	0.21851	1026.79	224.37
Mortero prefabricado	0.22268	93.45	20.81
Neopreno	17.65333	1.50	26.48
Temple	14.72049	1.61	23.70
PVC	10.35576	1.04	10.77
Terrazo	0.21619	43.34	9.37
Otros (vidrio, metales, porcelana, cal, etc.)	0.31949	146.48	46.8

MCH: Modelo Constructivo Habitual

CBM: Componente Básico Material

ECCBM = Emisiones de CO₂ por cada CBM representativo del MCH, en kgCO₂/kg de material.

R* = Peso medio, de cada CBM, en kg/m² construido.

recursos que entran al sistema no salgan en forma de desecho, sino que se reutilicen y produzcan beneficios dentro del mismo sistema o para otros sistemas. La metodología que propone este sistema de certificación presta notable atención a los materiales que se utilizan en el proceso de diseño-construcción, pues busca utilizar materiales inocuos para todas las especies a través del tiempo y que todos puedan reabastecerse sin impacto negativo en la salud humana y el ecosistema.

Las necesidades que deben cubrir los materiales se centran en su relación con el medio ambiente y con el usuario final. Atendiendo a ello, LBC actualiza periódicamente un listado de materiales dañinos o “red

list” que no deben ser utilizados en la construcción de un edificio. Esta lista incluye tanto a los productos químicos como a los grupos químicos^[10]:

- Alquilfenoles
- Asbestos
- BisfenolA(BPA)
- Cadmio
- Polietileno Clorado y Polietileno Clorosulfonado
- Clorobencenos
- Cloro fluorocarbonos (CFS) e Hidroclorofluorocarbonos (HCFC)
- Cloropreno (Neopreno)
- Cromo VI
- Cloruro de Polivinilo Clorado (CPVC)
- Formaldehido (añadido)

- Retardantes a las Llamas Halogenizados (HFR)
- Plomo (añadido)
- Mercurio
- Bifenilos Policlorados (PCB)
- Compuestos Perfluorados (PFC)
- Ftalatos
- Cloruro de Polivinilo (PVC)
- Cloruro de Polivinilideno (PVDC)
- Parafinas Cloradas de Cadena Corta
- Tratamientos de madera que contienen Creosota, Arsénico o Pentaclorofenol
- Compuestos Orgánicos Volátiles (VOC) en productos aplicados en húmedo

[10]_La lista completa se puede consultar en el Manual de Pétalo de Materiales de Living Building Challenge v3.1.

Pensamiento sistémico

La teoría general de sistemas (TGS) es una metodología que permite organizar el conocimiento, a partir de la apreciación de los fenómenos que ocurren en el mundo como procesos de mayor complejidad. El enfoque que se obtiene de la TGS está generado por la integración de diversas disciplinas, y esta transdisciplinariedad permite obtener resultados más allá de lo convencional conocido y resolver problemas que exceden las áreas exactas de cada disciplina (Gonzalo, 2015).

Aplicado a la arquitectura, se entiende que un edificio existente o de nueva construcción involucra múltiples disciplinas, las que deben integrarse para dar respuesta adecuada a las interrogantes que plantea un diseño susten-

table. Constantemente estamos absorbiendo materiales y recursos de la naturaleza, de la misma manera que los devolvemos en forma de residuos. A este tipo de sistema se le considera abierto, opuesto a los procesos naturales que se comportan como sistemas cerrados, los cuales devuelven al medio un producto útil para la realización de otro proceso.

Un edificio se puede considerar un sistema en constante interacción con otros sistemas de la naturaleza. Al comprender cada componente del sistema por separado, podemos comprender las relaciones entre sí y entender su funcionamiento como un todo.

I.4_Arquitectura sustentable

I.4.3_Diseño bioclimático. Recursos pasivos del clima

Desde la antigüedad uno de los principales objetivos del hombre ha sido establecer una vivienda donde descansar del duro día de trabajo. El movimiento nómada de las comunidades humanas y su posterior asentamiento en diferentes regiones, los obligó a adaptarse al clima particular de los territorios y a aprovechar los recursos que tenían a la mano en beneficio propio. El remontarnos a la antigüedad es la mejor definición de lo que se conoce como arquitectura bioclimática.

El diseño aprovechando los recursos pasivos del clima para optimizar el consumo de

recursos dentro de los edificios es un concepto tan antiguo como la humanidad en sí. Con la aparición del aire acondicionado, los sistemas de calefacción, el “boom” consumista de los años 60 y 70, la prefabricación masiva y la globalización de la arquitectura, se dejaron de lado años de experiencia y de conocimiento vernáculo para introducir en las ciudades una nueva imagen de progreso proyectada por edificios totalmente acristalados, climatizados, y diseñados bajo los principios del Movimiento Moderno (MoMo).

Tras reconocer la crisis ambiental por la

que estaba atravesando el planeta en los años 90 es que la comunidad de arquitectos recupera el trabajo científico de muchos profesionales sobre el diseño bioclimático y se reincorpora poco a poco esta práctica a la labor profesional y en la academia.

Ken Yeang (2011) define el diseño bioclimático como el aprovechamiento de los recursos pasivos del clima, a partir del diseño de los espacios y el manejo de los elementos arquitectónicos. Este concepto lo comparte Luis de Garrido (2011), quien afirma que a través de decisiones de proyecto puramente

arquitectónicas se puede lograr que un edificio se caliente, por sí mismo, en invierno, y se refresque, por sí mismo, en verano. Según el arquitecto, el diseño bioclimático de un edificio es la actividad de mayor eficacia medioambiental y la de menor coste económico, de entre todas las que se pueden adoptar a la hora de diseñar un edificio sostenible.

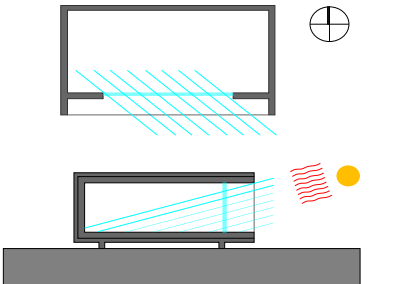
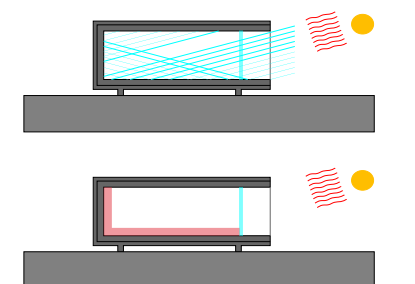
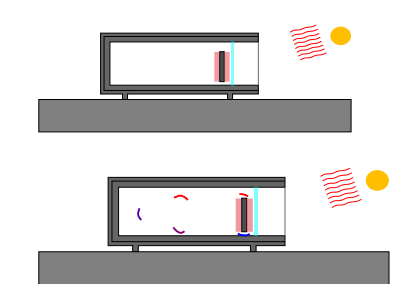
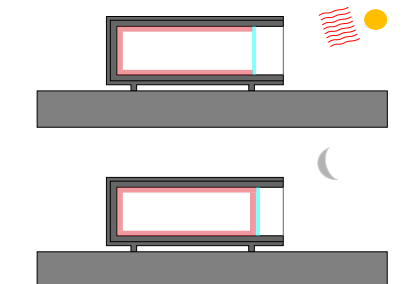
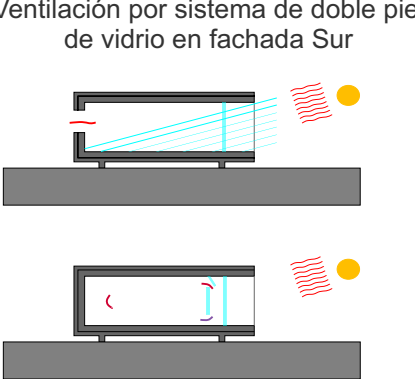
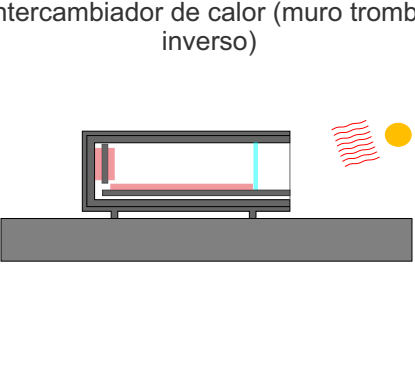
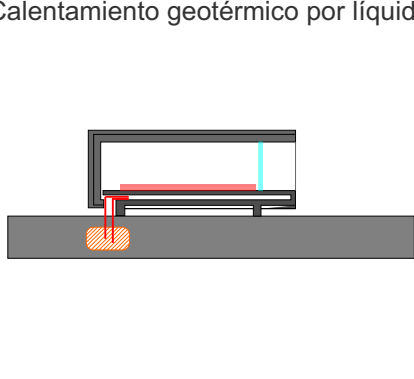
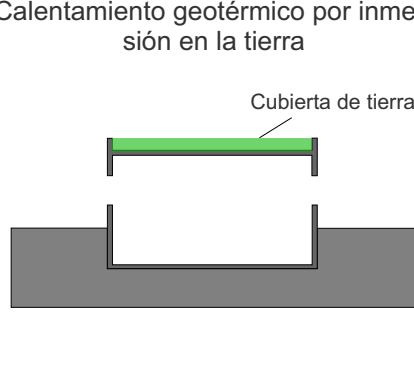
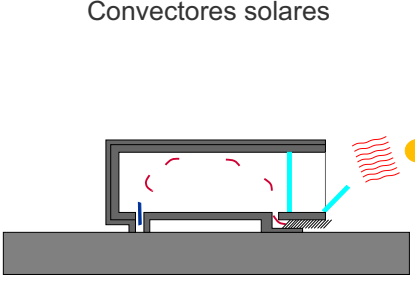
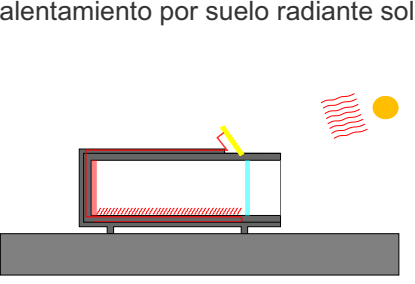

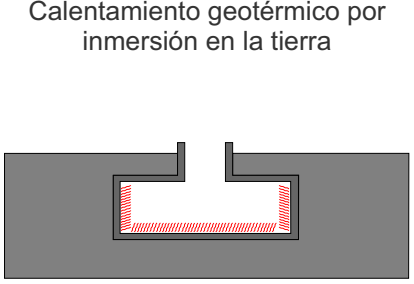
Un edificio bioclimático es aquel que se regula térmicamente sin necesidad de aditamentos tecnológicos. El edificio bioclimático debe generar calor y fresco, debe almacenar calor y fresco, así como transferir calor y fresco, por sí solo (de Garrido, 2014).

La tabla I.2 resume algunas estrategias de diseño bioclimático para lograr los objetivos antes mencionados.

Los esquemas representan estrategias

cuyo objetivo principal es la generación de calor. El primer recurso, y más recomendado para un diseño bioclimático acertado es la correcta orientación solar, la cual dependerá de la intención de acondicionamiento térmico, ya sea enfriar o calentar el espacio. Otras estrategias técnicamente más complejas implican la elección del material del acristalamiento o de la envolvente, de manera que se pueda manejar la inercia térmica de los materiales a favor del confort térmico interior.

La esencia del diseño bioclimático es aprovechar las fuentes energéticas que existen pasivas en la naturaleza, y reducir en máxima medida posible, el consumo de combustible para el acondicionamiento térmico de las edificaciones.

Estrategias bioclimáticas que tienen como objetivo la generación de calor	Estrategias			
	Orientación Sur de fachada acristalada	Efecto invernadero	Muro trombe	Aislamiento, inercia térmica y ciclos circadianos
				
<p>Ventilación por sistema de doble piel de vidrio en fachada Sur</p> 	<p>Intercambiador de calor (muro trombe inverso)</p> 	<p>Calentamiento geotérmico por líquido</p> 	<p>Calentamiento geotérmico por inmersión en la tierra</p> <p>Cubierta de tierra</p> 	
<p>Convectores solares</p> 	<p>Calentamiento por suelo radiante solar</p> 	<p>Calentamiento geotérmico por aire</p> 	<p>Calentamiento geotérmico por inmersión en la tierra</p> 	

I.5_Conclusiones parciales. Síntesis de tecnologías y recursos de diseño sustentable.

Durante la revisión de este marco documental, las distintas fuentes consultadas concuerdan en que para hablar de sustentabilidad se debe combinar el enfoque medioambiental, con el social y el económico. El diseño arquitectónico no queda exento, ya que al ser la construcción una de las industrias de mayor impacto en la vida de las personas, la economía regional y global y el entorno medioambiental, es de importancia fundamental identificar las estrategias y técnicas que hagan más sustentable cualquier edificación.

El desarrollo científico y técnico ha permitido que el hombre aproveche los recursos energéticos presentes en la naturaleza de una manera sostenible. Utilizar sistemas de energía renovable contribuye a reducir notablemente las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera y por tanto, combate directamente el cambio climático. Es fundamental hacer un correcto análisis de las condiciones del emplazamiento del nuevo proyecto. Se deberá identificar si existe algún suministro por parte del municipio o localidad y qué capacidad de conectividad tiene. Se

deberá observar la orientación con respecto al Sol o si la ubicación es en un lote de playa, o si el terreno tiene propiedades geotérmicas favorables. De igual manera, la implementación de una tecnología de energía renovable será el doble de exitosa siempre que se reduzca la demanda energética de la edificación. A menor demanda, siempre será menor el impacto en el ciclo de vida de la edificación.

El diseño bioclimático es la herramienta ideal para reducir la demanda energética de un edificio. Al considerar desde la etapa conceptual las ventajas del clima con respecto al

nuevo edificio, se pueden aprovechar los recursos que devendrán en ahorros sustanciales durante la vida útil del proyecto. Las decisiones de diseño siempre deben ir apalancadas de un correcto análisis de sitio y de sus condiciones climáticas.

Para hablar de sustentabilidad integral es correcto hacer referencia al ciclo de vida total, que implica desde que se selecciona el sitio, se decide el concepto, e incluso se extraen las materias primas que conformarán los materiales utilizados en la construcción, pasando por la vida útil, la explotación del edificio, la demolición del mismo y posterior reutilización de los residuos. Ante la elección de un sistema constructivo, será más eficiente un sistema prefabricado, y más si el sistema se fabrica en sitio o en una planta cercana

al lugar de la construcción. Para una elección sustentable de materiales, se deberá observar el ciclo de vida del mismo y el tratamiento que le da el fabricante. Es responsabilidad del propietario del proyecto contratar proveedores que ofrezcan un tratamiento de reutilización o de reciclaje de sus propios productos, y en un escenario óptimo, reutilizar materiales de otras edificaciones en desuso o renovar un edificio existente. La elección de los materiales también tiene un impacto directo en el bienestar de los futuros ocupantes de los edificios. La composición química, las pinturas y adhesivos que se utilizan en estos, pueden representar un riesgo para la salud de las personas. En caso de que la elección del material esté limitada por cuestiones económicas se deberán implementar proce-

sos de limpieza del aire y las superficies antes de aprobar la ocupación definitiva del edificio.

Cada paso que se toma al diseñar el proceso de construcción de un edificio es crucial para llegar a un resultado sustentable holístico. En este capítulo se presentaron recursos, tecnologías y herramientas para coadyuvar a un diseño conciente, sin embargo no son suficientes si no se atienden los objetivos correctos en una etapa temprana y se consideran todas las interacciones entre especialidades.

CAPÍTULO II_Análisis de sitio y contexto de la Ciudad de México

II.1_La Ciudad de México. Latitud

La Ciudad de México es una de las 32 entidades federativas de México, así como la capital de los Estados Unidos Mexicanos. Se localiza en el Valle de México, que conforma la Cuenca de México junto al Valle de Cuautitlán, el Valle de Apan y el Valle de Tizayuca. La ciudad está dividida administrativamente en 16 alcaldías y su centro administrativo se localiza en el Zócalo. La población es de aproximadamente 8,9 millones de habitantes de la cual aproximadamente el 19% es flotante sumando 1 millón 720 mil 145 personas .



La Ciudad de México tiene una extensión de 1945 km² y se encuentra a una altitud media de 2240m sobre el nivel del mar, localizada en los 19.4326 grados de latitud norte y los -99.1332 de longitud oeste.

Los datos que acaban de ser mencionados tienen un peso importante para lograr un diseño bioclimático adecuado. Tal como hemos venido manejando, la arquitectura bioclimática no solo se centra en el manejo de los recursos pasivos del clima como afirman muchos autores. El aprovechamiento de las fuentes renovables de energía y los criterios de la construcción ecológica son imprescindibles para obtener un producto próximo a la sustentabilidad.

En cuanto a las fuentes renovables de

energía es fundamental conocer la localización geográfica del territorio en el que se pretende intervenir, en particular la latitud. El principal recurso con que contamos es el Sol, entendido como una fuente de energía que históricamente ha sabido aprovechar el hombre en su beneficio. Entender las características de asoleamiento del territorio, la ganancia térmica y la radiación, así como el horario de cenit es muy importante para el trabajo que se pretende realizar.

La posición de la tierra en la trayectoria solar

Szokolay, en su libro *Arquitectura Solar*, explica los principios físicos detrás de la arquitectura solar. Para comprender cuánto se puede aprovechar el Sol es importante

conocer una serie de datos.

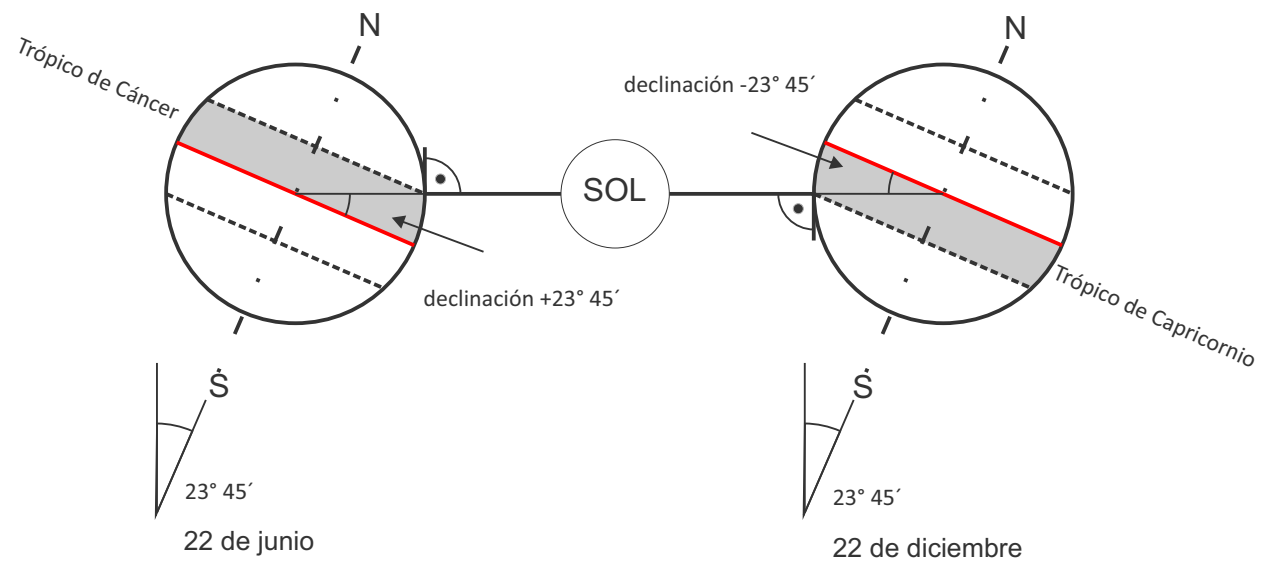
“La tierra gira alrededor del Sol describiendo una trayectoria ligeramente elíptica (Fig. II.2). Su eje de rotación lleva una inclinación de 23.45° con relación al plano de esa elíptica, de donde derivan las variaciones estacionales del trayecto aparente al Sol. Para un punto cualquiera del ecuador terrestre, el Sol se encuentra en el cenit al mediodía en las fechas del equinoccio (21 de marzo y 23 de septiembre).”

“El 22 de junio, al mediodía, el Sol llega al cenit en todos los puntos situados a lo largo del trópico de Cáncer (LAT 23.45°), y el 22 de diciembre tiene un trayecto cenital para todos los puntos situados a lo largo del trópico de Capricornio (LAT -23.45°)”(Szokolay, 1983.

pp. 7).

México es atravesado por el trópico de Cáncer en la región del estado de Sonora. La ciudad de México se encuentra en una latitud menor, específicamente a los 19.43° , por lo que percibe perpendicularmente los rayos solares no exactamente en el mes de junio, sino en el mes de mayo, que es cuando la radiación es más intensa, incluso se ha clasificado de peligrosa.

La latitud en que está la Ciudad de México resulta favorable para captar la energía solar a partir de sistemas fotovoltaicos. La radiación que llega a la superficie es relativamente intensa y el ángulo de altitud solar es conveniente para estos sistemas durante varios meses del año.



II.2_Relación Tierra-Sol: la causa de las variaciones estacionales.

Elaboración propia a partir de gráfico tomado de "Arquitectura Solar" S.V. Szokolay, 1983.

II.2_Condiciones físico-geográficas

II.2.1_Temperatura

El clima de la Ciudad de México en mayor parte es templado subhúmedo (87%). En el resto se encuentra clima seco y semiseco (7%) y templado húmedo (6%) lo que demuestra la diversidad que posee el territorio en cuanto a condiciones físicas. La temperatura promedio anual es de 15,9°C. Las temperaturas más altas, mayores a 25°C se registran en los meses de marzo a mayo, y las más bajas, alrededor de 5°C se registran en los meses de enero y febrero.

Los datos recopilados en el climograma de la ciudad de México (Fig. II.1) y la Gráfica de

Temperatura (Fig. II.2) indican que la temperatura en la ciudad de México se mantiene relativamente estable durante casi todo el año. Esto considerando los promedios mensuales de temperatura. Los datos permiten calcular que la variación entre el verano y el invierno es poca, abarcando un intervalo de 20 grados entre las máximas y las mínimas. Sin embargo, los efectos del calentamiento global se han dado a notar en la Ciudad de México en la que se han registrado valores de temperaturas superiores a los 30 °C, como fue el caso del

año 2018 donde la mayor temperatura registrada fue de 34.1°C (México, 2018). Con respecto a las mediciones realizadas en 2015 la temperatura media anual subió de 16.4°C a 16.8°C en el año 2017, mientras que los datos históricos comparados desde el año 2000 demostraron que efectivamente, este año fue atípico, registrándose un incremento en el promedio de temperatura mensual en casi todos los meses, excepto marzo, abril, julio y diciembre (Secretaría del medio ambiente de la Ciudad de México, 2018).

Según los datos de Calidad del aire en la Ciudad de México, informe 2017 (2018), las mediciones de temperatura realizadas en las áreas urbanas fueron mayores que las mediciones tomadas en zonas rurales lo que demuestra la existencia de microclimas urbanos¹ así como de islas de calor en la ciudad.

Fig. II.1_ Climograma de la Ciudad de México.

Fuente: www.climate-data.org. Fecha de consulta: 24-12-2021.

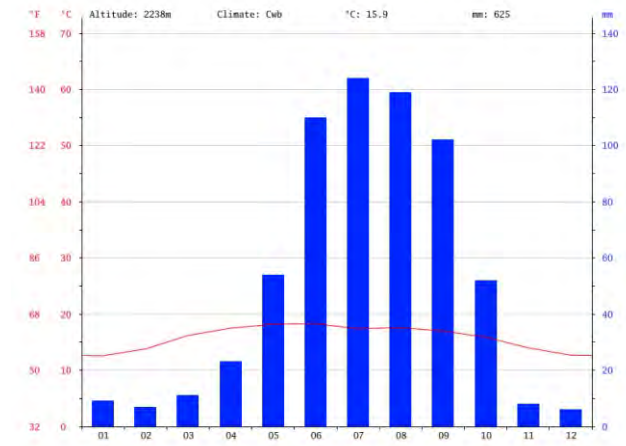
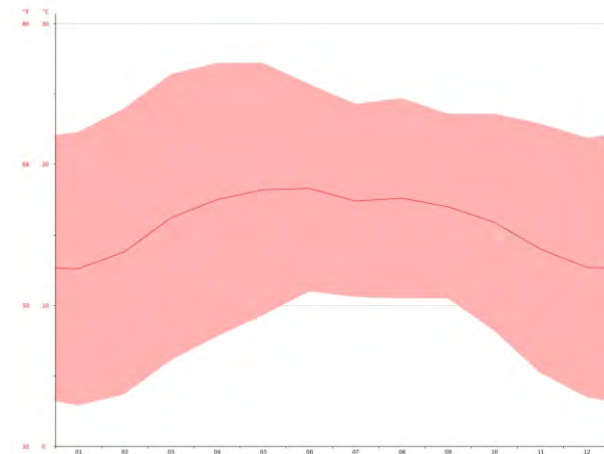


Fig. II.2_ Gráfica de temperatura de la Ciudad de México.

Fuente: www.climate-data.org. Fecha de consulta: 24-12-2021.



[1]_Microclima urbano: El microclima es un área en la que el clima difiere del entorno por determinadas condiciones. En las ciudades se generan islas de calor urbanas (ICU), y su extensión e importancia está dada por la magnitud de la urbanización.

II.2.2_Microclimas urbanos. Islas de calor urbanas en la Ciudad de México

Para la Ciudad de México, y en general para el resto del país, los meses de abril y mayo son los meses más calurosos del año. En el medio ambiente se generan de forma natural microclimas, descritas como zonas en que las condiciones climáticas difieren de sus alrededores. Las condiciones para que se generen microclimas pueden ser de diversa índole, pero en el caso de las ciudades, donde no es ajeno este fenómeno su aparición e intensidad está directamente relacionado con la densidad constructiva entre otros factores. La aparición de

microclimas urbanos da lugar a las Islas de Calor Urbanas (ICU).

En la naturaleza las islas de calor se regulan a partir de las propias características físicas y ecológicas del suelo y su entorno, sin embargo, en las ciudades las condiciones son muy diferentes así como las causas que lo originan y los efectos que ocasionan. Según la doctora Elda Luyando (2018) “el fenómeno isla de calor se refiere a la presencia de aire más caliente en ciertas zonas de la ciudad a diferencia del que se encuentra en las zonas rurales que lo

rodean”. “La isla de calor se genera por las modificaciones al balance energético causadas por la morfología de las ciudades y nuestras actividades cotidianas” (ecoticias.com, 2018). Las variaciones de temperatura en las zonas urbanas están dadas por la pobre disipación del calor asociado principalmente a la densidad construida. La ausencia de áreas verdes, de cuerpos de agua, sumado al calor generado por el tráfico vehicular, los procesos industriales, así como el uso de aire acondicionado son factores que incrementan

la temperatura en determinadas zonas de las ciudades.

La Ciudad de México al ser una urbe consolidada, no queda exenta de este fenómeno. La Secretaría de Medio Ambiente a través del Sistema de Monitoreo Atmosférico mantiene en su página de internet la supervisión de la calidad del aire, en la cual se puede apreciar la variación de la temperatura en cada alcaldía de la ciudad de México. En el año 2018, el 30 de mayo se registraron picos de temperatura en la ciudad, y un mapeo del comportamiento arrojó que los valores más altos se presentaron en las alcaldías Coyoacán, Benito Juárez y la zona sur de Miguel Hidalgo y Cuauhtémoc, mientras que las regiones más frescas fueron el extremo Sur de Milpa

Alta y Tlalpan.

Con la intención de recopilar datos para hacer un mapa con las ICU en la Ciudad de México e identificar las zonas con condiciones más críticas de temperatura, se acudió al registro realizado por la Secretaría de Medio Ambiente y las mediciones de las temperaturas en la ciudad correspondientes al 31 de mayo de 2018.

Las imágenes muestran las mediciones realizadas en los horarios comprendidos entre las 1:00 y las 23:00 horas (Ver Fig. II.3).

No es coincidencia que las zonas donde se registraron en el año 2018 las mayores temperaturas fuera en las alcaldías ya mencionadas. Estas se caracterizan por una alta densidad constructiva y se encuentran los principales rascacielos de la ciudad que

con sus fachadas acristaladas reflejan la radiación lumínica y térmica. De igual modo, estas alcaldías presentan grandes extensiones de terreno pavimentados con poca o nula vegetación. La vegetación existente no se localiza en zonas de jardín sino en ponches en el pavimento y generalmente, los árboles son de copa pequeña, poco frondosos.

La Fig. II.4 muestra un resumen de las zonas donde se registró mayor temperatura. En línea de puntos blancos se señaló las áreas donde las altas temperaturas fueron constantes en casi todos los horarios registrados, de modo que se pueden considerar como las zonas más críticas.

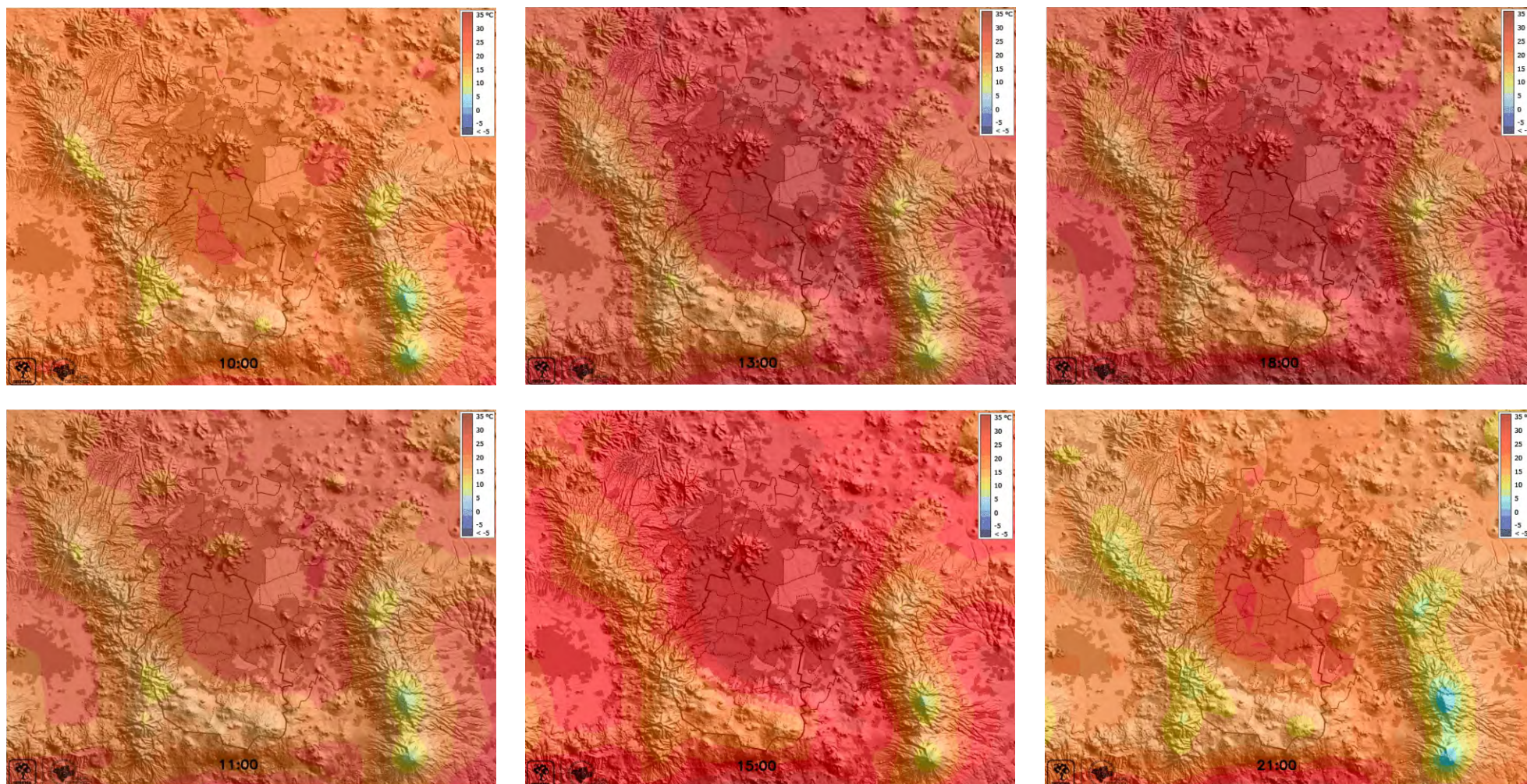


Fig. II.3_ Mediciones de temperatura en la Ciudad de México realizadas el 31-05-2018. Los horarios de las tomas aparecen indicados en cada imagen.

Fuente: Secretaría del Medio Ambiente. Sistema de Monitoreo Atmosférico.

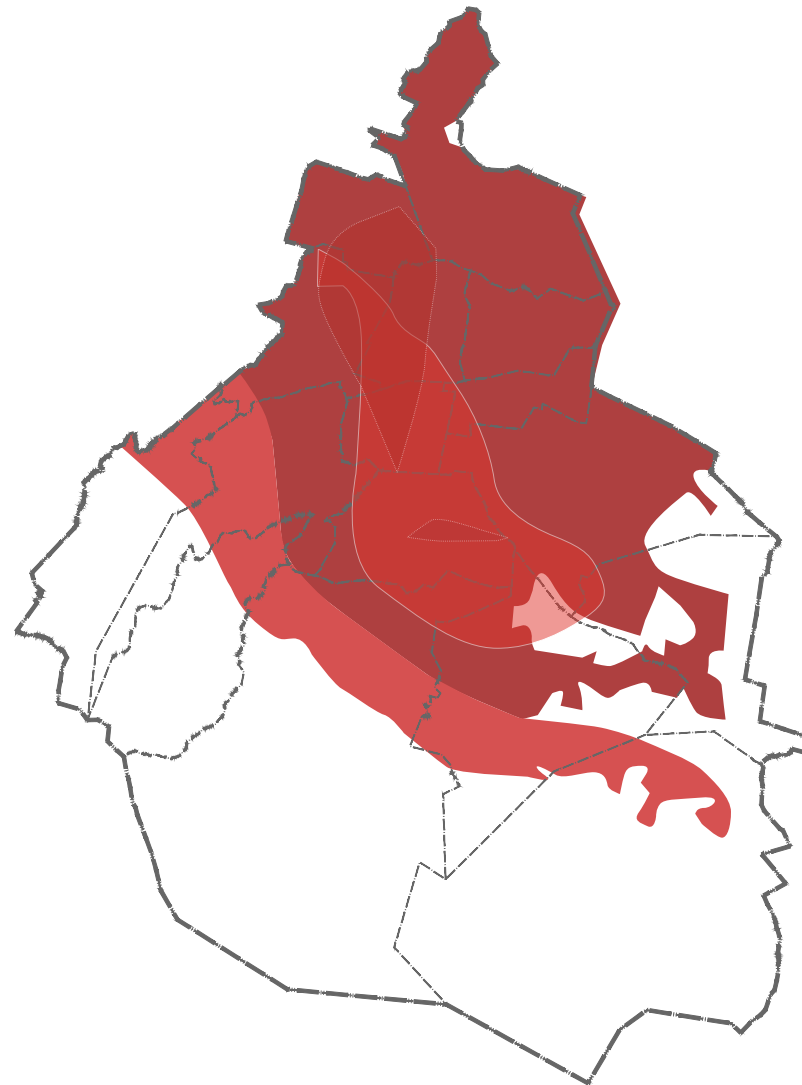


Fig. II.4_ Representación gráfica de mayores temperaturas por áreas en la Ciudad de México
Fuente: Elaboración propia a partir de mapas de temperatura del Sistema de Monitoreo Ambiental.

II.2.3_Presencia de áreas verdes en la Ciudad de México

Las áreas verdes con que cuenta la ciudad están distribuidas irregularmente concentrándose en zonas que en relación con la extensión total de la mancha urbana se pueden considerar reducidas. Una de las características principales del entorno urbano de la ciudad de México es la ausencia de vegetación en los espacios públicos. Esta es en general escasa, y prácticamente inexistente en zonas con una alta densidad constructiva y de habitantes.

Se conoce que el fenómeno ICU está estrechamente relacionado con la presencia

o no de vegetación en las áreas urbanas, específicamente de árboles. Para obtener datos más detallados y a fin de comprobar su correspondencia con las áreas críticas antes identificadas, se analizó la presencia de vegetación en las diferentes alcaldías. Se tuvo en cuenta para el análisis 4 parámetros:

- Vegetación urbana adecuada o VUA (aquella que se considera suficiente para proporcionar un área de sombra y que permita a través de la evaporación la reducción de la temperatura en el espacio público)

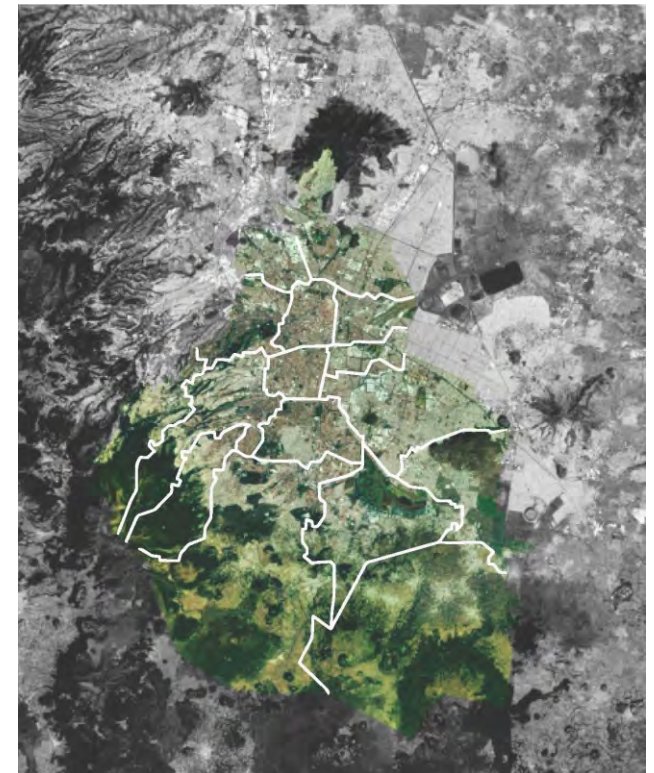


Fig. II.5_Áreas verdes en la Ciudad de México. Elaboración propia a partir de imagen tomada de earth.google.com el 11-11-2019.

- Vegetación urbana insuficiente o VUI (aquella que a pesar de existir presencia de arbolado, las especies utilizadas, su ubicación y espaciamiento no garantizan una adecuada área de sombreado ni la reducción de la temperatura en el espacio público)
- Área de bosque o AB (área no urbanizada con presencia de vegetación tupida)
- Sin vegetación o SV (áreas totalmente pavimentadas, o no pavimentadas pero con ausencia total de vegetación)

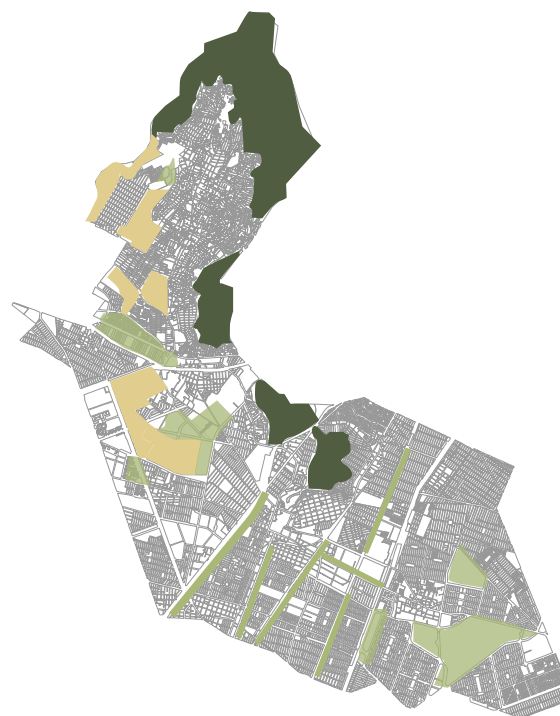
El análisis gráfico permitió obtener una información porcentual de la relación de la presencia de vegetación en las zonas urbanizadas (ZU)²

Plano vegetación urbana
Alcaldía Azcapotzalco_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada
- Sin vegetación

SV= 21.83%
VUA= 17.26%



Plano vegetación urbana
Alcaldía Gustavo A. Madero_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada
- Sin vegetación
- Zona de bosque

ZB= 11.93%
SV= 2.88%
VUA= 11.48%

Fig. II.6_Representación gráfica de áreas verdes en las alcaldías Azcapotzalco y Gustavo A. Madero. Elaboración propia.

[2]_La zona urbanizada(ZU) responde a la siguiente fórmula:

$$* ZU= At-(AB+SV)$$

Se considerará zona urbanizada a la diferencia entre el área total y el área de bosque y las áreas sin vegetación.

El análisis arrojó que hacia la región sur de la ciudad, las áreas urbanizadas tienen menor proporción. Se respeta la presencia de cerros y las zonas de bosques, que en alcaldías como Magdalena Contreras y Tlalpan ocupan aproximadamente el 65% del territorio.

Por otro lado, es característica general que el territorio ocupado está densamente edificado siendo escaso el arbolado urbano. En Tláhuac una parte importante del terreno se destina a la agricultura y las áreas urbanizadas con vegetación adecuada son prácticamente inexistentes.

La alcaldía Milpa Alta es un caso excepcional por el porcentaje de ocupación de suelo, se aprecian en esta algunos asentamientos de los cuales la Villa Milpa Alta es el más importante. Las áreas urbanizadas ocupan en relación a la extensión total del territorio aproximadamente el 7%, cabe destacar que la zona es predominantemente rural y por tanto se aprecian extensas áreas de cultivo.

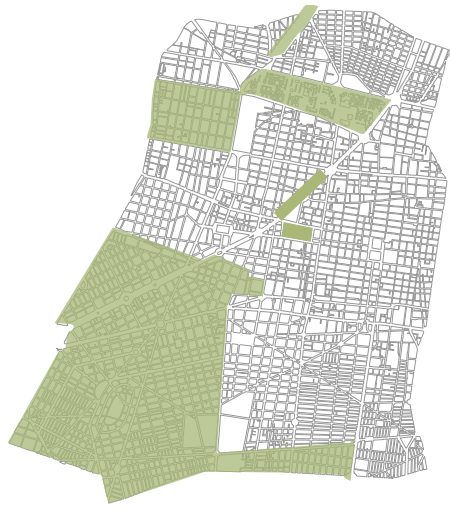
Xochimilco presenta la particularidad de la zona de canales que ocupa el 23% del terreno. Las áreas edificadas se aprecian densamente construidas con poca o nula vegetación en los espacios públicos.

Los datos recopilados se agruparon en el gráfico II.1 a partir del cual se elaboró un mapa general de la ciudad mostrando las

delegaciones más y menos favorecidas en cuanto a la distribución de la vegetación. Se graficó atendiendo a tres categorías.

En algunas alcaldías aproximadamente entre el 40% y el 60% del territorio está ocupado por áreas de bosque, mientras que el territorio urbanizado en estas cuenta con un porcentaje significativo de vegetación adecuada en espacios públicos.

Se aprecia el caso de alcaldías cuyo territorio está completamente ocupado y cuentan con una distribución de áreas verdes favorecedora en espacios públicos, como es el caso de la alcaldía Benito Juárez y la Miguel Hidalgo. En general, se identificó un desbalance en la distribución de áreas verdes producto de la alta densidad constructiva y



Plano vegetación urbana
Alcaldía Cuauhtémoc_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada

VUA= 37.4%

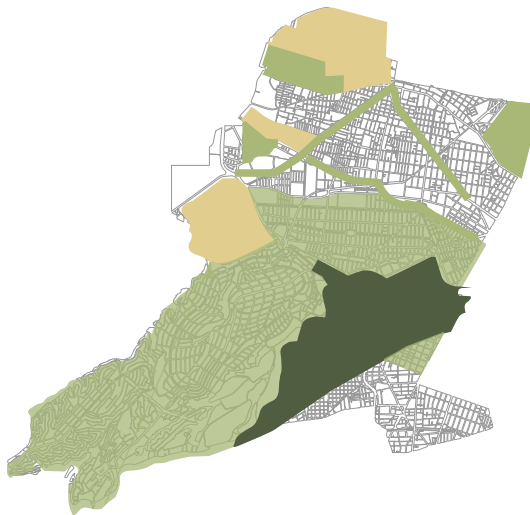


Plano vegetación urbana
Alcaldía Venustiano Carranza_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada
- Sin vegetación

VUA= 12.38%
SV= 26.3%

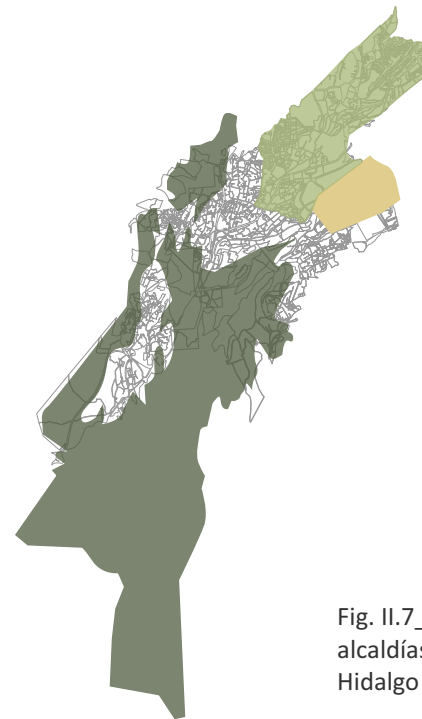


Plano vegetación urbana
Alcaldía Miguel Hidalgo_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada
- Sin vegetación
- Zona de bosque

ZB= 12.69%
SV= 18.45%
VUA= 85%



Plano vegetación urbana
Alcaldía Cuajimalpa de Morelos_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada
- Sin vegetación
- Zona de bosque

ZB= 59.7%
SV= 4%
VUA= 44%
ZU=36.3%

Fig. II.7_Representación gráfica de áreas verdes en las alcaldías Cuauhtémoc, Venustiano Carranza, Miguel Hidalgo y Cuajimalpa. Elaboración propia.

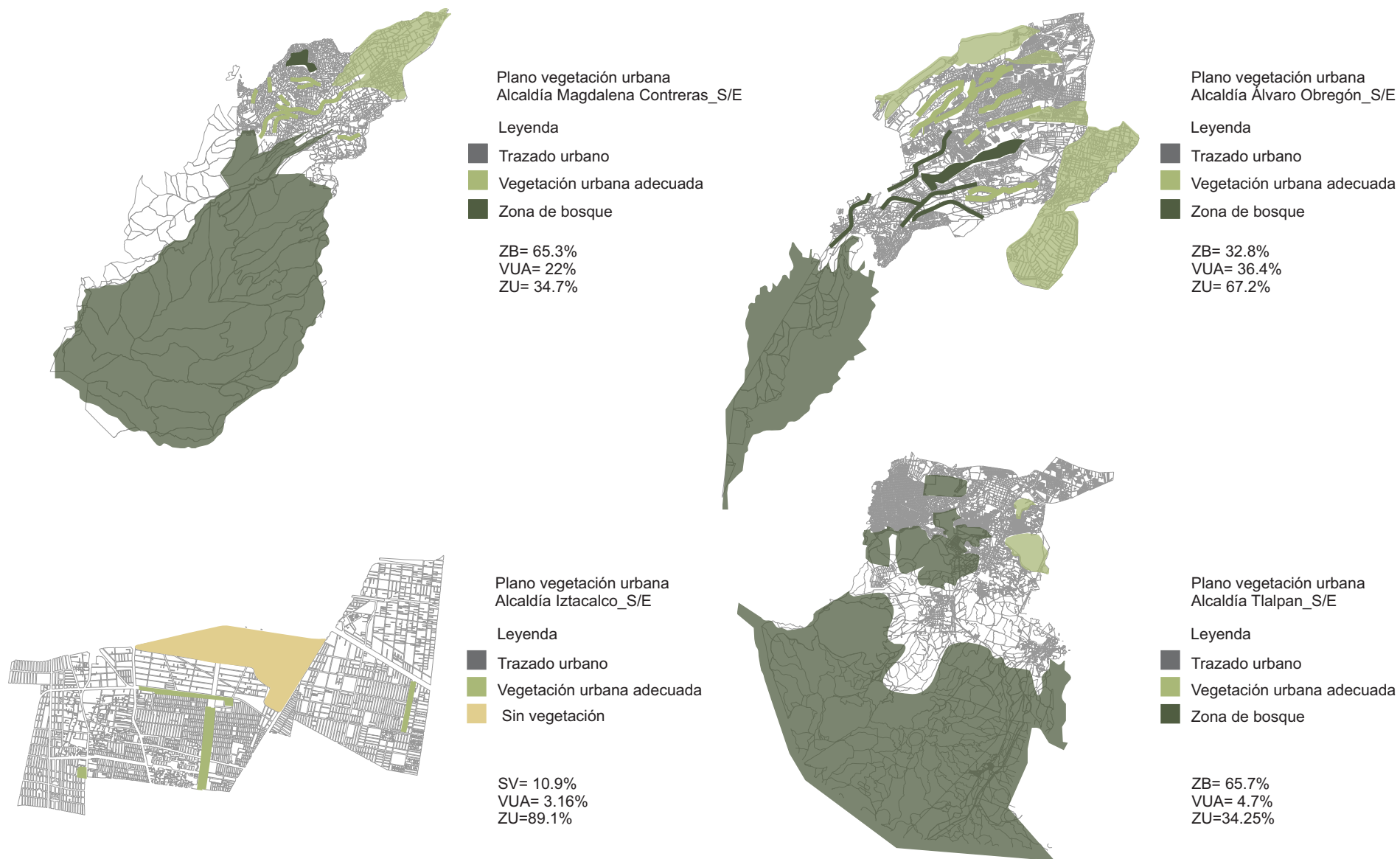


Fig. II.8_ Representación gráfica de áreas verdes en las alcaldías Magdalena Contreras, Álvaro Obregón, Iztacalco y Tlalpan. Elaboración propia.

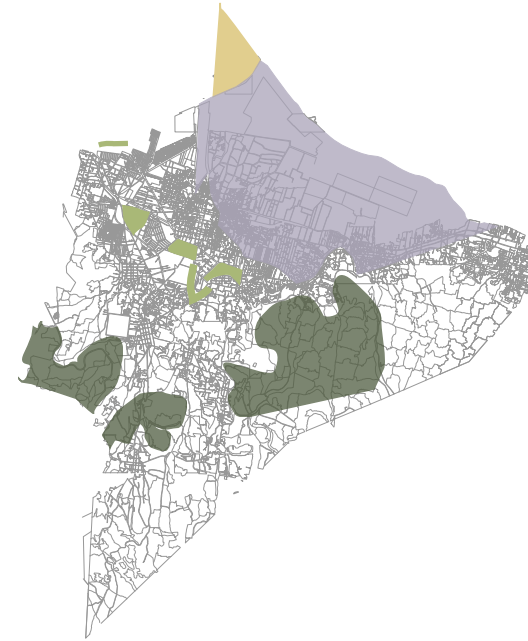


Plano vegetación urbana
Alcaldía Milpa Alta_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada

ZU= VUA= 7%
ZB= 93%

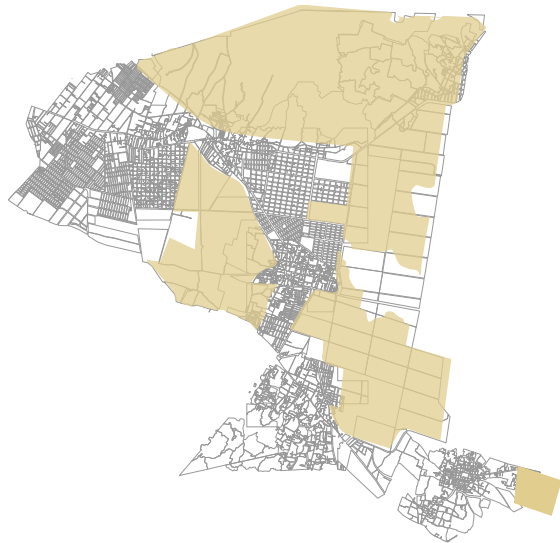


Plano vegetación urbana
Alcaldía Xochimilco_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada
- Sin vegetación
- Zona de bosque
- Canales

ZB= 15.56%
SV= 2%
VUA= 2.5%
canales= 23%



Plano vegetación urbana
Alcaldía Tláhuac_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Sin vegetación

ZU= 49.2%
SV= 50.8%



Plano vegetación urbana
Alcaldía Coyoacán_S/E

Leyenda

- Trazado urbano
- Vegetación urbana adecuada

VUA= 44.87%

Fig. II.9_Representación gráfica de áreas verdes en las alcaldías Milpa Alta, Xochimilco, Tláhuac, Coyoacán. Elaboración propia.

poblacional.

La representación gráfica de los datos (Fig. II. 12) permitió comprobar que en la región norte, noreste y este de la ciudad se encuentran las alcaldías menos favorecidas en cuanto a la vegetación urbana. Hacia el sur las condiciones son muy diferentes. Cambia la densidad constructiva y poblacional, por tanto el territorio urbanizado es proporcionalmente menor. Las alcaldías del sur de la ciudad presentan una mejor distribución de áreas verdes urbanas y por tanto su clasificación en este estudio corresponde a una buena condición.

Las alcaldías ubicadas en las áreas centrales se pueden clasificar de regulares, mientras que la región este de la ciudad se

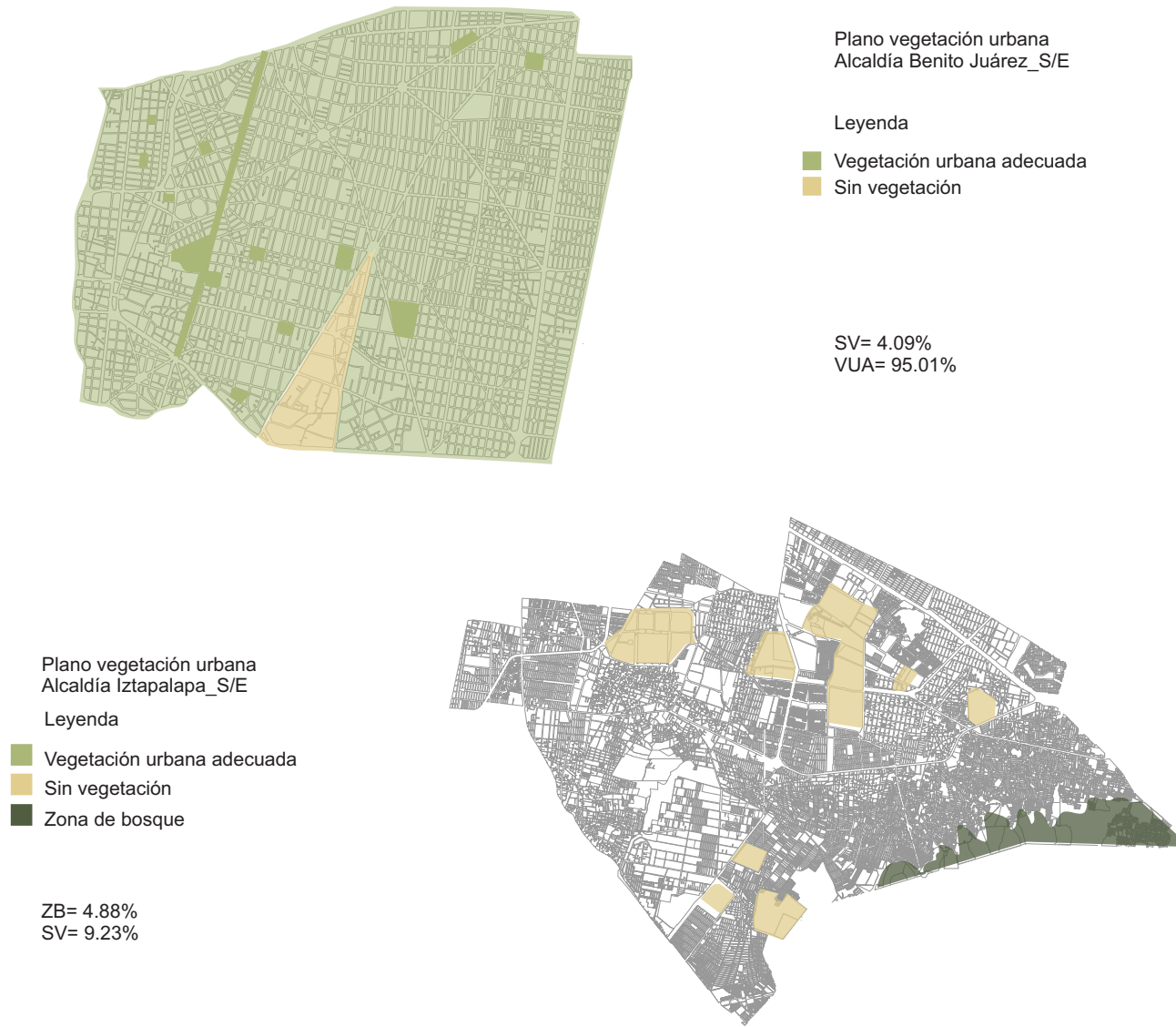


Fig. II.10_Representación gráfica de áreas verdes en las alcaldías Benito Juárez e Iztapalapa. Elaboración propia.

encuentran en la mejor condición.

Este análisis permitió corroborar la correspondencia directa que existe entre las ICU y la distribución balanceada de la vegetación en el territorio urbano. Son más los factores que intervienen en la aparición de esta condición, pero conocer el comportamiento de la vegetación es indispensable para proponer estrategias adecuadas de diseño.

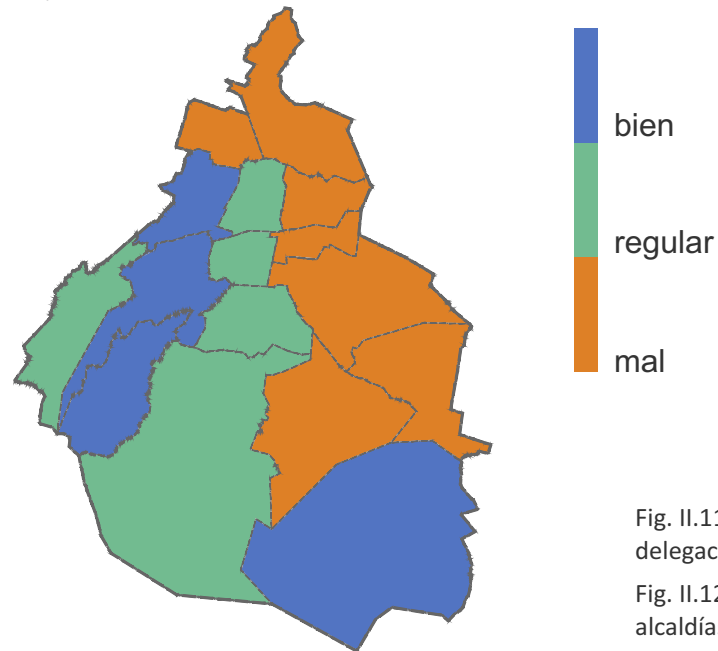
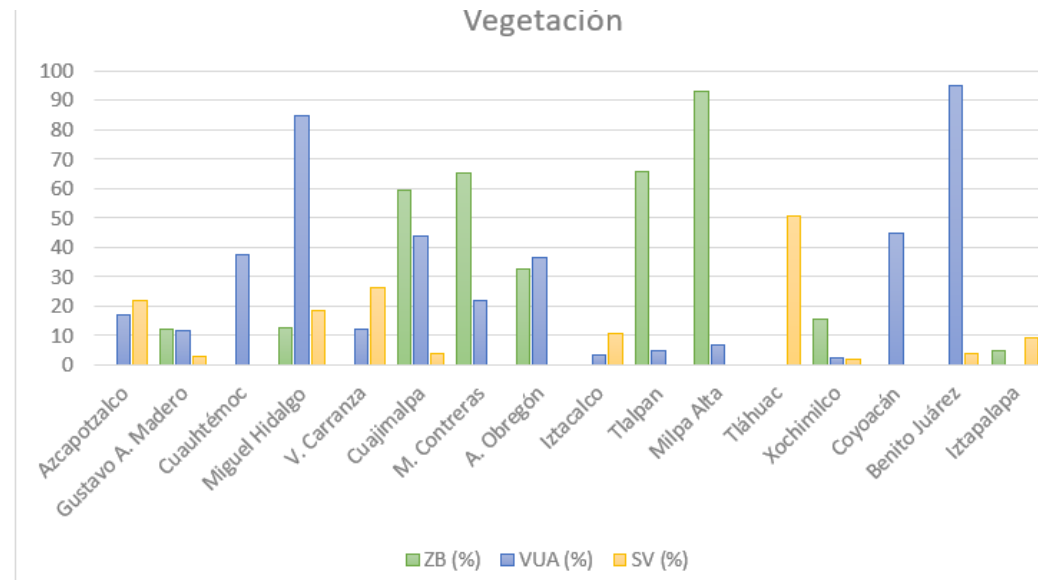


Fig. II.11_ Gráfico de barras. Presencia de vegetación por delegación. Elaboración propia.

Fig. II.12_ Representación general de la vegetación por alcaldías. Elaboración propia.

II.2.4_Precipitación pluvial y humedad relativa

El agua es un problema de relevante importancia en la Ciudad de México y que debe ser atendido desde todas las vías posibles. Se conoce que la industria de la construcción es una de las industrias que más consume este recurso, puesto que la vida útil del producto (las edificaciones) se extiende por más de 50 años, y es en este período donde el consumo de agua es mayor.

La ciudad de México está asentada sobre una laguna de la cual se fue extrayendo el recurso agua hasta el punto de deprimir significativamente el manto freático. Esto

sumado a que las áreas de infiltración son muy escasas ha provocado la carencia de agua en el territorio, hasta el punto de tener que trasladar el agua potable que consume la ciudad de México desde otras regiones.

En el diseño arquitectónico debe considerarse el máximo ahorro de este recurso dentro de la edificación, pero concebir un sistema que recupere el agua de lluvia, es una opción óptima, que garantizaría un mejor aprovechamiento del recurso y reduciría el consumo directo del caudal de agua potable.

Conocer los datos sobre las precipitaciones permitirá identificar las áreas más favorecidas durante el año, así como estimar la cantidad de agua de lluvia que se pudiera recuperar para el consumo de los edificios durante su vida útil.

La temporada de lluvia se presenta generalmente de junio a septiembre, sin embargo, es normal que ocurran episodios de lluvia en mayo y octubre. De acuerdo con los datos de CONAGUA recopilados en los resúmenes mensuales de temperatura y lluvia hasta el 2018, el mes más lluvioso fue

agosto con un promedio de 198.2mm precipitados. El acumulado de precipitación anual fue de 786.2mm.

La precipitación pluvial se mide en mm lo que es equivalente a la cantidad de litros de agua por metro cuadrado. Las mediciones ofrecen un indicador para determinar cuan viable es instalar un sistema de captación de agua pluvial en las edificaciones, de acuerdo a la región de la ciudad donde se construya el inmueble.

La tabla II.13 muestra el promedio de precipitaciones mensuales en la Ciudad de México. Se aprecia que de 12 meses que tiene el año, 6 constituyen la temporada de lluvia. Sin embargo, en abril y noviembre se han reportado precipitaciones en los últimos

años.

El informe anual sobre la calidad del aire en la Ciudad de México en el año 2015 publicó una relación de los acumulados registrados en las estaciones meteorológicas. En la Fig. II.14 se muestran los datos recuperados en una gráfica de barras. Las estaciones que reportaron mayor cantidad de acumulados de lluvia fueron la de Magdalena Contreras, Cuajimalpa, Naucalpan, Azcapotzalco, Huixquilucan, Tlalnepantla y la Miguel Hidalgo con valores por encima de los 700 mm de precipitación.

Humedad relativa y confort

La humedad relativa tiene un efecto directo en las condiciones de confort del ser humano dentro y fuera de los espacios. El

confort higrotérmico se obtiene una vez que no tienen que intervenir los mecanismos termorreguladores del cuerpo para una actividad sedentaria y con una indumentaria ligera.

Estudios se han realizado controlando las condiciones humanas de confort y han

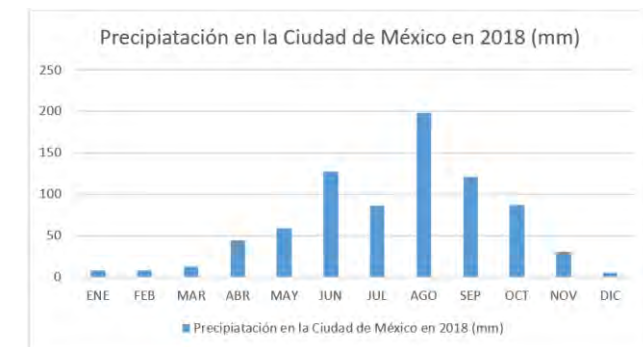


Fig. II.13_Gráfico de barras. Promedio de precipitaciones mensuales en la Ciudad de México. Elaboración propia con datos recopilados de los resúmenes mensuales de temperatura y lluvia de CONAGUA en 2018

conducido a índices efectivos de la temperatura estándar. La American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) establece la humedad relativa de confort al interior de los espacios oscila entre 30 y 60%, con una temperatura entre los 20 y los 24°C.

El comportamiento de la humedad depende estrechamente del régimen pluvial. En la Ciudad de México en la temporada de seca de octubre a mayo la humedad relativa se registró entre un 30 y un 50%, mientras que en la temporada de lluvias este intervalo aumentó hasta un 60 y 80%. El mes más seco en 2018 fue febrero con un 40% de humedad relativa promedio, mientras que el más húmedo fue julio con un promedio del

Promedio de los valores acumulados de precipitación

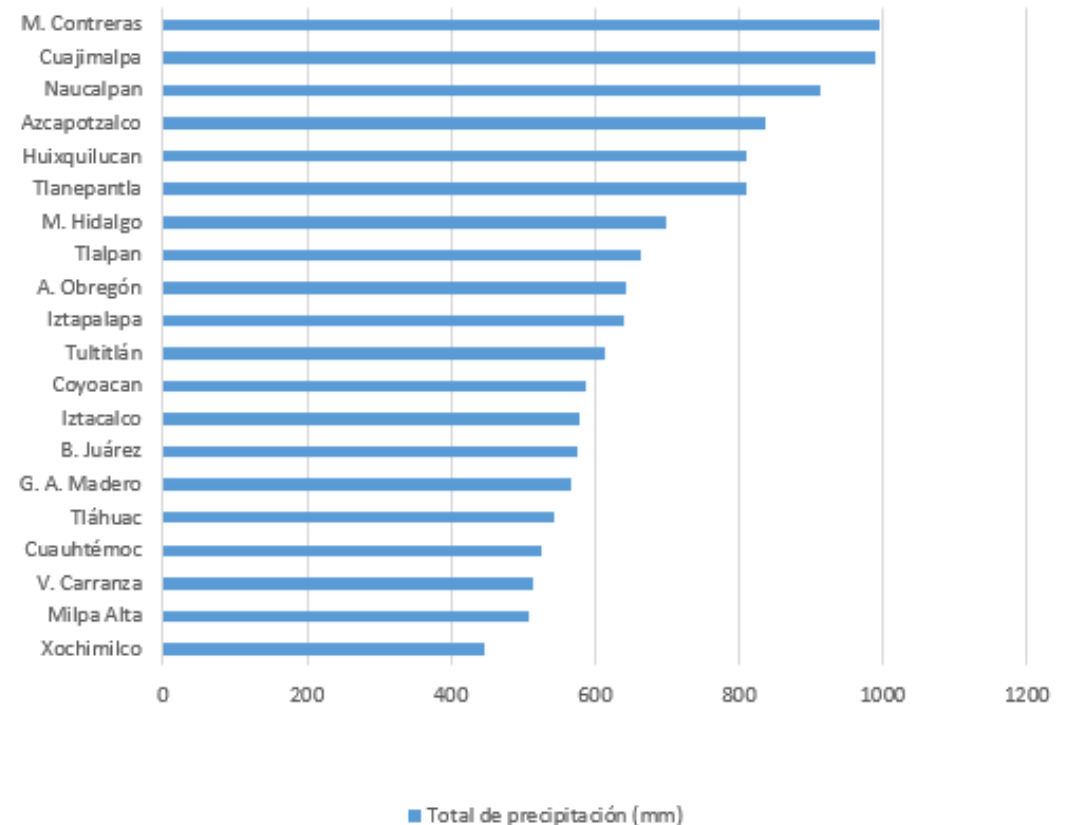


Fig. II.14_ Valores en milímetros de precipitación anual registrados en las estaciones meteorológicas en la Ciudad de México en el año 2015. Tomado de calidad del aire en la ciudad de México. Informe anual 2015.

70% (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2018).

Al conocer los datos de temperatura y humedad relativa en una región se puede diseñar desde la arquitectura para garantizar el confort higrotérmico en los edificios. La Carta Bioclimática de Víctor Olgyay relaciona la humedad relativa, la temperatura y la velocidad del aire, señala la zona de confort de acuerdo a la región geográfica a la que pertenece y para diversos tipos de metabolismo, de modo que se convierte en una herramienta de diseño clave.

Guillermo Enrique Gonzalo en su Manual de Arquitectura Bioclimática (2003) presenta un grupo de estrategias arquitectónicas para conseguir un diseño bioclimático utilizando la

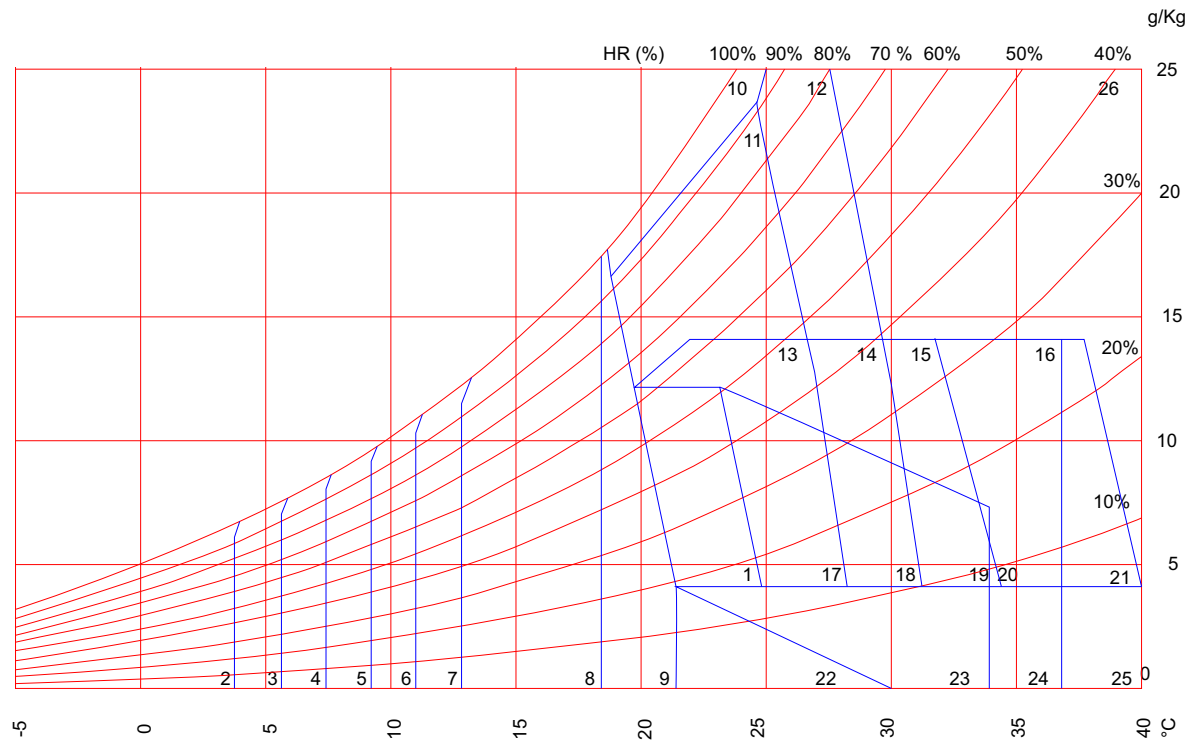


Fig. II.15 Parte 1_Diagrama psicrométrico para una altura de 2500 m sobre el nivel del mar. Tomado de Gonzalo Guillermo, 2003. p-440-441.

carta psicométrica para varias alturas sobre el nivel del mar. En la Fig. II.15 se muestra el diagrama psicométrico y las estrategias de diseño para una altura de 2500m sobre el nivel del mar.

1-Zona de confort	11-Ventilación natural
2-Calefacción solar pasiva, activa y convencional	12-Ventilación mecánica
3-Calefacción solar pasiva con ganancia de radiación solar sobre el plano Norte en el mes más desfavorable > 5000 W/h	13-Inercia térmica, ventilación natural, enfriamiento evaporativo directo
4-Calefacción solar pasiva con ganancia de radiación solar en el plano Norte en el mes más desfavorable > 4500 W/h	14-Inercia térmica, ventilación mecánica, enfriamiento evaporativo indirecto
5-Calefacción solar pasiva con ganancia de radiación solar en el plano Norte en el mes más desfavorable > 4000 W/h	15-Inercia térmica, enfriamiento evaporativo indirecto
6-Calefacción solar pasiva con ganancia de radiación solar en el plano Norte en el mes más desfavorable > 3500 W/h	16-Inercia térmica con ventilación nocturna, enfriamiento evaporativo indirecto
7-Calefacción solar pasiva con ganancia de radiación solar en el plano Norte en el mes más desfavorable > 3000 W/h	17-Inercia térmica, ventilación natural, enfriamiento evaporativo directo e indirecto
8-Calefacción solar pasiva con ganancia de radiación solar en el plano Norte en el mes más desfavorable > 2500 W/h	18-Inercia térmica, ventilación mecánica, enfriamiento evaporativo directo e indirecto
9-Calefacción solar pasiva con ganancia de radiación solar en el plano Norte en el mes más desfavorable > 2000 W/h e inercia térmica.	19-Inercia térmica, enfriamiento evaporativo directo e indirecto
10-Enfriamiento convencional y deshumidificación	20-Inercia térmica, enfriamiento evaporativo indirecto
	21-Inercia térmica con ventilación nocturna
	22-Humidificación
	23-Enfriamiento evaporativo directo
	24-Enfriamiento evaporativo indirecto
	25-Enfriamiento convencional y humidificación
	26-Enfriamiento convencional

Fig. II.15 Parte 2_Estrategias de diseño de acuerdo al diagrama psicométrico para una altura de 2500 m sobre el nivel del mar. Tomado de Gonzalo Guillermo, 2003. p-440-441.

II.2.5_Brisas predominantes y dirección del viento

Conocer el comportamiento de los vientos en la Ciudad de México es de relevante importancia principalmente para el diseño arquitectónico que utiliza como recurso la ventilación natural así como para determinar el destino de los contaminantes presentes en las masas de aire.

El viento ocurre por un gradiente de presión tanto a escala local como a gran escala. Un calentamiento diferencial de la superficie, los cambios en la topografía, la presencia de tormentas en la zona incluso las turbulencias locales son causa de que se origine viento en

determinada área. Los días ventilados favorecen el esparcimiento de la contaminación, mientras que en días con ausencia de viento se produce un estancamiento de la contaminación altamente perjudicial.

La dirección y el movimiento del aire en la Ciudad de México corresponden al comportamiento típico de un valle rodeado por montañas. En la Cuenca de México en la noche, el viento desciende por la ladera de las montañas impulsado por la brisa de las montañas de modo que converge en la región norte y centro de la ciudad. El movimiento del viento

en la noche da lugar a que la mayor concentración de contaminantes se encuentre en esa zona en las mañanas. Con la salida del Sol y el calentamiento de las laderas de la montaña, se genera un gradiente de temperatura que provoca la elevación del aire caliente. Este movimiento del aire es lo que se conoce como brisa del valle, que en dirección Norte-Sur arrastra consigo todos los contaminantes alojados en la región norte de la ciudad. La brisa del Valle gana velocidad durante el día, lo que permite una mejor dispersión del aire contaminado, sin embargo la

presencia de la montaña da lugar a un estancamiento temporal del aire en el Sur (Retama Hernández, 2015).

El comportamiento del aire en la ciudad de México se explica en las Fig. II. 16 y II.17. en las que se grafican los flujos en los horarios de la mañana y de la noche.

Dadas las características climáticas de la ciudad de México, analizadas por Fuentes Freixanet (2002), no existen vientos con direcciones diferenciadas estacionalmente. En la mayoría de los casos el viento que prevalece se encuentra comprendido entre el Noroeste y el Noreste.

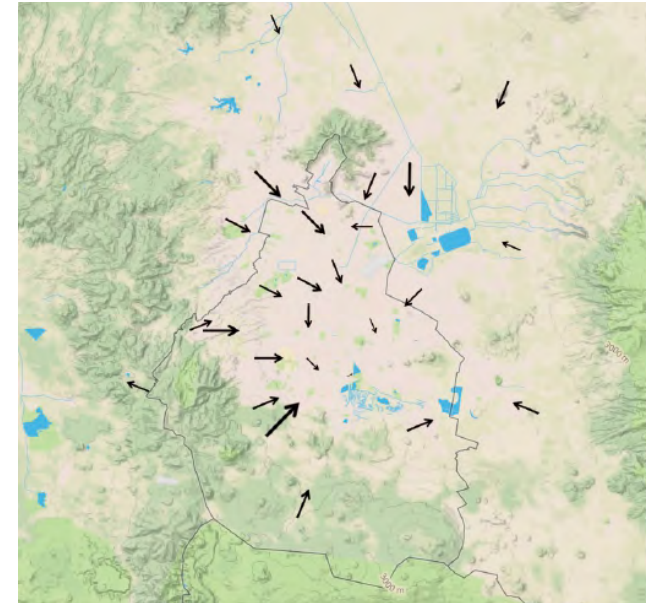
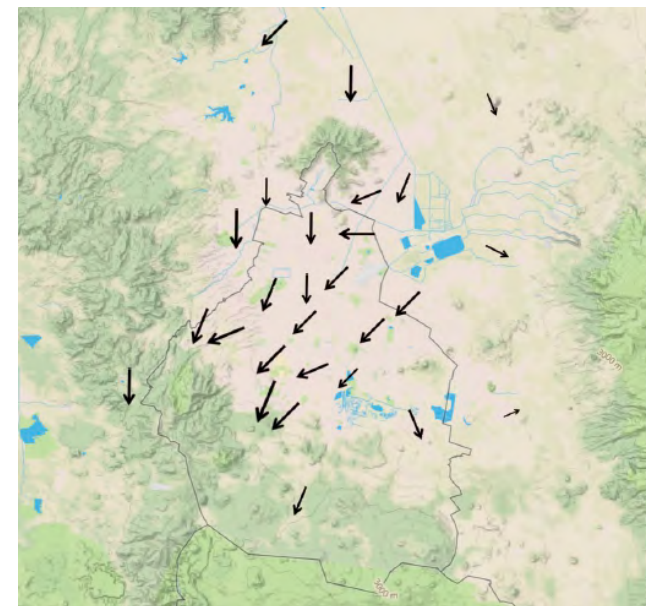


Fig. II.16_Brisa de Montaña. Flujo de viento nocturno (21:00-7:00) Tomado de Calidad del aire en la Ciudad de México. Informe anual 2015.

Fig. II.17_Brisa de Valle. Flujo de viento diurno (9:00-13:00) Tomado de Calidad del aire en la Ciudad de México. Informe anual 2015.



II.2.6_Calidad del aire

La concentración de los contaminantes en la atmósfera está condicionada por la actividad urbana y las variaciones en la meteorología (Secretaría del medio ambiente de la Ciudad de México, 2018).

En la ciudad de México, en el horario nocturno se produce una concentración de contaminantes hacia el centro de la cuenca por la acción de los vientos débiles que descienden de las montañas y por la presencia de una capa límite atmosférica (CLA)²estable.

Algunos de los principales contaminantes

que se encuentran en la atmósfera son los siguientes(Secretaría del medio ambiente de la Ciudad de México, 2018):

- Dióxido de azufre: Es uno de los contaminantes primarios, cuyas concentraciones se redujeron notablemente durante la década de 1990 y continúan disminuyendo. Los valores máximos registrados se encuentran por debajo de los límites de la NOM. Datos obtenidos del Sistema de Monitoreo Atmosférico revelan que las mayores concentraciones se

registraron hacia el norte de la zona metropolitana.

- Óxidos de nitrógeno: Las fuentes principales de este contaminante son los motores de combustión interna y por tanto los mayores registros se ubicaron en las zonas con mayor tránsito vehicular, por ejemplo Xalostoc, Tlanepantla y Miguel Hidalgo. De

[2]_ La capa límite atmosférica o CLA “integra las emisiones de especies químicas provenientes de las actividades humanas y de procesos en el suelo y la vegetación. Su altura determina el volumen de dilución de los compuestos presentes en ella” (Secretaría del medio ambiente de la Ciudad de México, 2018. p.31)

acuerdo a la NOM-023-SSA1-1994 el límite permisible de óxido de nitrógeno es de 210 ppb para el promedio de una hora. Los datos recopilados muestran que el valor promedio horario en la Ciudad de México fue de 130 ppb.

- Monóxido de Carbono: El monóxido de carbono (CO) es un contaminante producto de la quema incompleta de los combustibles fósiles y de la biomasa. En la Ciudad de México se considera un indicador de emisiones vehiculares, ya que la quema de combustibles fósiles es una de las fuentes más importantes de este contaminante. Las mayores concentraciones de CO se localizan en las zonas con mayor flujo vehicular,

principalmente en la región central de la Ciudad de México.

- Ozono: El ozono se produce por la acción de los rayos solares sobre los óxidos de nitrógeno que se producen en un 80% por el tráfico vehicular. Los niveles de ozono están directamente relacionados con las anomalías en la nubosidad y la radiación UV-B. Mayor concentración de ozono a menor nubosidad y mayor radiación independientemente de la estación del año.
- Partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$: La aparición de este tipo de partículas contaminantes se debe a al alto nivel de emisiones de origen industrial. Los

índices registrados en 2017 superaron casi en el triple a los valores permitidos por la norma, y fueron el principal detonante de las Contingencias Ambientales. La concentración de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$ aumentó durante los días laborables, mientras que en fin de semana se registró una disminución, al igual que el CO y los NO_x .

En el informe anual sobre la Calidad del Aire en la Ciudad de México (2018, p.63) se resume la calidad del aire que presentó la ciudad en ese año:

En el año 2017 “se observó que al igual como ha ocurrido en los últimos años, solo tres contaminantes alcanzaron concentraciones que implicaban un mayor

riesgo para la salud, con categorías MALA o MUY MALA en la escala del índice: ozono, Pm_{10} y $PM_{2.5}$ ".

Las imágenes Fig. II.18 y Fig. II.19 muestran el comportamiento anual de la calidad del aire en la Ciudad de México. Los datos revelan que de 364 días del año, 276 días se reportó la calidad del aire como MALA, y 16 días como MUY MALA.

Las personas en la Ciudad de México pasan aproximadamente unas 3 horas como promedio en el exterior, generalmente en el transporte hacia sus trabajos u hogares. La mayor parte del tiempo la pasan al interior de algún tipo de edificación. La calidad del aire en la ciudad está altamente comprometida por la contaminación, por tanto es nuestra

responsabilidad garantizar un aire limpio en los espacios para asegurar una buena calidad de vida para las personas.

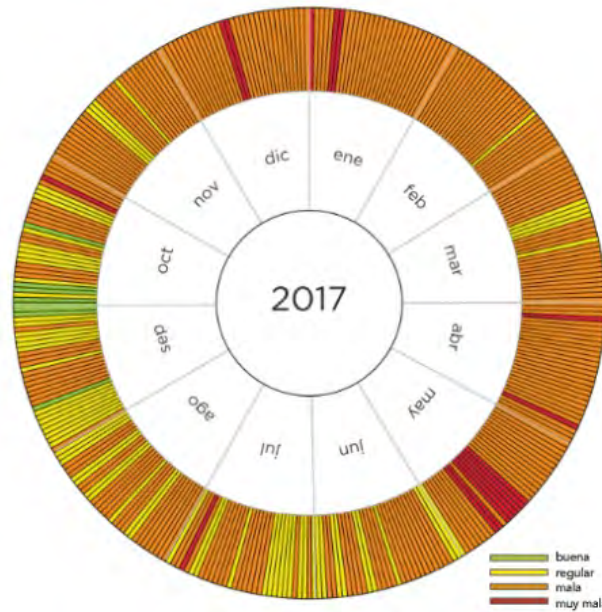


Fig. II.18_Calidad del aire por categoría del índice Metropolitano de la calidad del aire durante 2017. Tomado de: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2018. p.63.

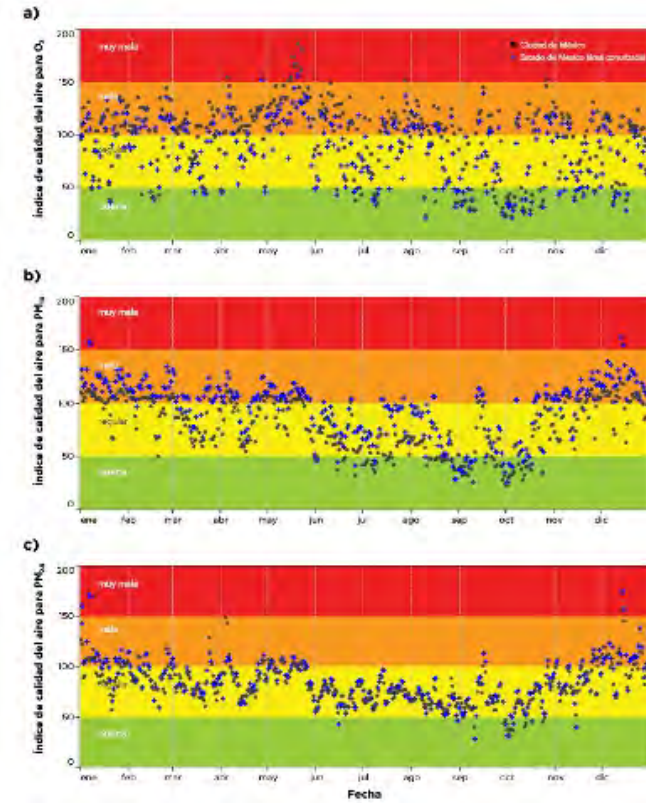


Fig. II.19_Máximos del índice de la calidad del aire para ozono (a), PM_{10} (b) y $PM_{2,5}$ ©, diferenciadas por entidad . Tomado de: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2018. p.63.

II.3_Asoleamiento e irradiancia solar

S. V. Szokolay en su libro *Arquitectura Solar* (1983, p.6) presenta su filosofía del diseño arquitectónico en relación a la energía:

“Debo diseñar el propio edificio de modo que se minimicen las necesidades de energía. Debo procurar la mayor parte posible de la energía necesaria, a partir de las fuentes ambientales, sin recurrir a las reservas de combustible fósil. Por consiguiente, debo intentarlo, a ser posible, sin utilizar energía para el suministro de energía, es decir con medios pasivos. Cuando haya otros imperativos que lo impidan (confort, economía o ina-

ceptabilidad por parte de los usuarios), emplearé sistemas activos, es decir, me resignaré a aceptar el hecho que tengo que gastar un poco de energía para obtener una mayor cantidad de energía.”

La energía solar es una de las fuentes inagotables de energía y el hombre ha aprovechado este recurso en su beneficio a lo largo de la historia. La energía solar es muy flexible en cuanto formas de aprovecharla: Como fuente de luz o como fuente de energía eléctrica o térmica. Conocer las características de la radiación solar en el lugar donde se pre-

tende hacer arquitectura es imprescindible para conseguir un diseño bioclimático y aprovechar al máximo este recurso.

La densidad del flujo solar en los límites exteriores de la atmósfera es la constante solar: 1353 W/m^2 . Varía de estación a estación en +/- 3,4%. En la superficie la densidad máxima del flujo o irradiancia (G), es de aproximadamente 1000 W/m^2 . Si esta irradiancia se mantiene durante una hora, la irradiación, es decir, la cantidad de energía incidente (H), será de 1000 Wh/m^2 (Szokolay, 1983).

Por su latitud, la Ciudad de México está

expuesta a 11 horas de radiación solar en invierno y 13 horas en verano. Además, por la altura en que se encuentra con respecto al nivel del mar, la radiación que recibe es más intensa al tener que atravesar los rayos solares un menor espesor de atmósfera. De acuerdo a los datos del Sistema de Monitoreo Atmosférico en 2017 el promedio anual de los valores máximos de radiación fue de 845 W/m², lo que se traduce en una disponibilidad energética de 19,7 megajoules por metro cuadrado (MJ/m²) (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2018).

Con respecto a la disponibilidad del recurso en el territorio los valores más altos de radiación solar se registraron en la periferia urbana, principalmente en las montañas, o

en las regiones donde los niveles de contaminación son inferiores. Es importante tener en cuenta que la radiación que llega a la superficie terrestre es un factor que depende tanto de las características de la capa de ozono, del vapor de agua contenido en el aire, de las distintas mezclas de gases y aerosoles, las partículas suspendidas y la nubosidad.

La imagen Fig. II.20 representa la disponibilidad del recurso energético por estación de monitoreo y la Fig. II.21 la localización geográfica de estas estaciones, lo que permite tener una referencia geográfica de las mediciones.

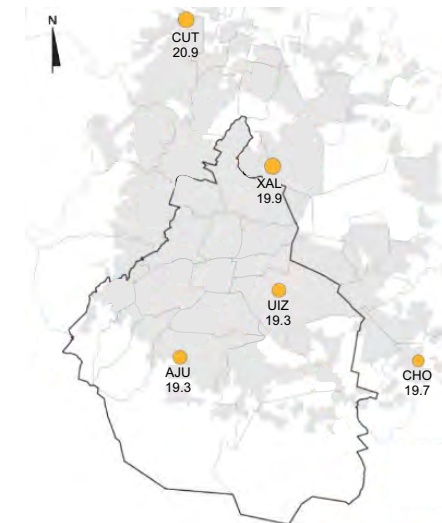
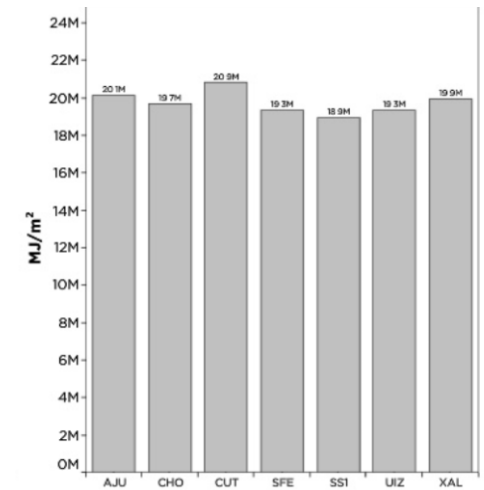


Fig. II.20_Promedio anual de irradiancia por sitio de monitoreo. Tomado de: Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2018. p.63.

Fig. II.21_Localización de estaciones de monitoreo.

II.4_Conclusiones. Características relevantes para análisis comparativo

Los elementos analizados en este capítulo nos permitieron reunir datos determinantes en la selección de los casos de estudio:

- El clima de la ciudad de México es predominantemente templado, por lo que el valor promedio de temperatura se encuentra entre los 15 y los 25°C
- La Ciudad de México está localizada a una altura de 2240 metros sobre el nivel del mar, por lo que los niveles de radiación solar que inciden sobre el territorio son mayores en comparación con otras altitudes. De igual manera influye en los

niveles de presión atmosférica

- Se extiende en un territorio de 1945 km² y posee una población aproximada de 8,9 millones de personas. Estas características influyen directamente en los niveles de contaminación y ocupación del territorio
- Por su ubicación geográfica recibe una gran cantidad de radiación solar. La intensidad varía por zonas dependiendo de los niveles de contaminación y las condiciones estacionales de la atmósfera. La energía solar se considera un

recurso de alto provecho

- En general la calidad del aire es mala, con altos índices en la presencia de contaminantes como el ozono, el CO y las partículas suspendidas Pm₁₀ y PM_{2,5}. Esta condición requiere de especial atención en el diseño arquitectónico pues está directamente relacionada con la calidad de vida de las personas

De igual manera se identificaron las zonas en la ciudad con condiciones más críticas en cuanto a temperaturas, avalado por los registros del Sistema de Monitoreo Atmosférico y

por un estudio del comportamiento de la vegetación en el territorio, por lo que serán regiones a las que se deberá prestar especial atención cuando se desarrolle en ellas un proyecto arquitectónico.

CAPÍTULO III_ Selección y análisis de casos de estudio

III.1_ Selección de casos de estudio similares al contexto de la Ciudad de México

La Ciudad de México presenta dos regiones físico-geográficas con características climáticas diferenciadas. El suroeste de la ciudad se caracteriza por ser una región más fría y húmeda, mientras que en la región noreste predomina el clima cálido y seco. De acuerdo a la carta de climas del INEGI el 87% del territorio presenta un clima Templado subhúmedo, con clima Seco y semiseco se identifica el 7% del territorio y con clima Templado húme-

do el 6% (Ver Fig. III.1)

De acuerdo al análisis realizado en el capítulo II, el área seleccionada para enfocar la metodología de diseño sustentable corresponde a la región noreste de la ciudad y por tanto, los casos de estudio se seleccionarán en ciudades que cuenten con características climáticas semejantes a la Ciudad de México, dígase un clima templado prestando atención especial a las soluciones de diseño para



Fig. III.1_Carta de climas del INEGI. Fuente: <http://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/df/territorio/clima.aspx?tema=me&e=09>. Fecha de consulta: 2/04/2020

condiciones cálidas.

Entre los factores a tener en cuenta para la selección de casos también se consideran la extensión de la ciudad, la densidad poblacional, y la altura sobre el nivel del mar; los niveles de contaminación atmosférica así como los valores de precipitación anual.

Sistema de clasificación climática de Köppen-Geiger

El sistema de clasificación climática de Köppen-Geiger se basa fundamentalmente en la temperatura y precipitación media anual y mensual. De acuerdo al sistema de clasificación el globo se divide en 5 grandes zonas climáticas que se denominan con letras mayúsculas de A-E, y subclasificaciones

condicionadas por la marcha y acumulado anual de las precipitaciones así como por la temperatura media anual.

El clima de la ciudad de México se clasifica como Cwb por el sistema Köppen-Geiger.

Para los climas tipo C la temperatura media del mes más frío está entre -3°C y 18°C . La subclasificación “w” indica que en el mes más seco que es el invierno, la precipitación acumulada (RR) media mensual es menor a 1/10 del RR media mensual del mes más lluvioso. Con respecto a la Temperatura la subclasificación “b” indica que la temperatura media del mes más cálido es menor a 22°C y que hay más de cuatro meses con temperatura media mayor a 10°C .

Los mapas de clasificación geográfica de

Köppen – Geiger nos permiten visualizar gráficamente las regiones de acuerdo a sus características climáticas en escalas muy precisas (Ver Fig. III.2).

La imagen muestra las regiones geográficas que presentan el tipo de clima templado, abarcando las diferentes clasificaciones (Csa, Csb, Csc, Cwa, Cwb, Cwc, Cfa, Cfb, Cfc). Entre estas regiones se seleccionaron solo las que tienen tipo de clima Cwb, correspondiente con el clima de la ciudad de México para seleccionar ciudades con características análogas (Ver Fig. III.3).

Con clima tipo Cwb, se identificaron las siguientes ciudades:

En América Latina: Cusco, Perú; Bogotá, Colombia; La Paz y Sucre, Bolivia; Quito,

Ecuador; Ciudad de Guatemala, Guatemala;
Ciudad de México, México.

En África: Adís Abeba, Etiopía; Nairobi,
Kenya; Johannesburgo, Sudáfrica.

En Asia: Ciudad de Dali, China.

La selección implica que las ciudades sean análogas, tanto en las condiciones climáticas como en las características demográficas, geográficas con respecto al caso de estudio que es la Ciudad de México. Se tuvo en cuenta que fueran ciudades capitales de los respectivos países en diferentes continentes.

La Tabla III.2 resume las principales características de las ciudades seleccionadas.

Tabla III.1_ Clasificación climática de Koppen-Geiger

Clasificación tipo	Nombre	Características Generales	Subclasificación
A	Clima tropical húmedo	Temperatura media mensual del mes más frío mayor a 18°C	Minúsculas: f, w, m
B	Clima Seco	Toma en consideración la temperatura media anual y el acumulado medio anual (RR)	Mayúsculas: S, W; minúsculas: h, k
C	Clima templado	Temperatura media del mes más frío está entre -3°C y 18°C	Minúsculas: f, w, s, a, b, c, d
D	Clima subártico	Temperatura media del mes más frío menor a -3°C y temperatura media del mes más cálido mayor a 10°C	Minúsculas: w, f, s, a, b, c, d
E	Clima de nieve o polar	La temperatura media del mes más calido es menor a 10°C	Mayúsculas T y F

Fuente: <http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico%20climatologia%202012>

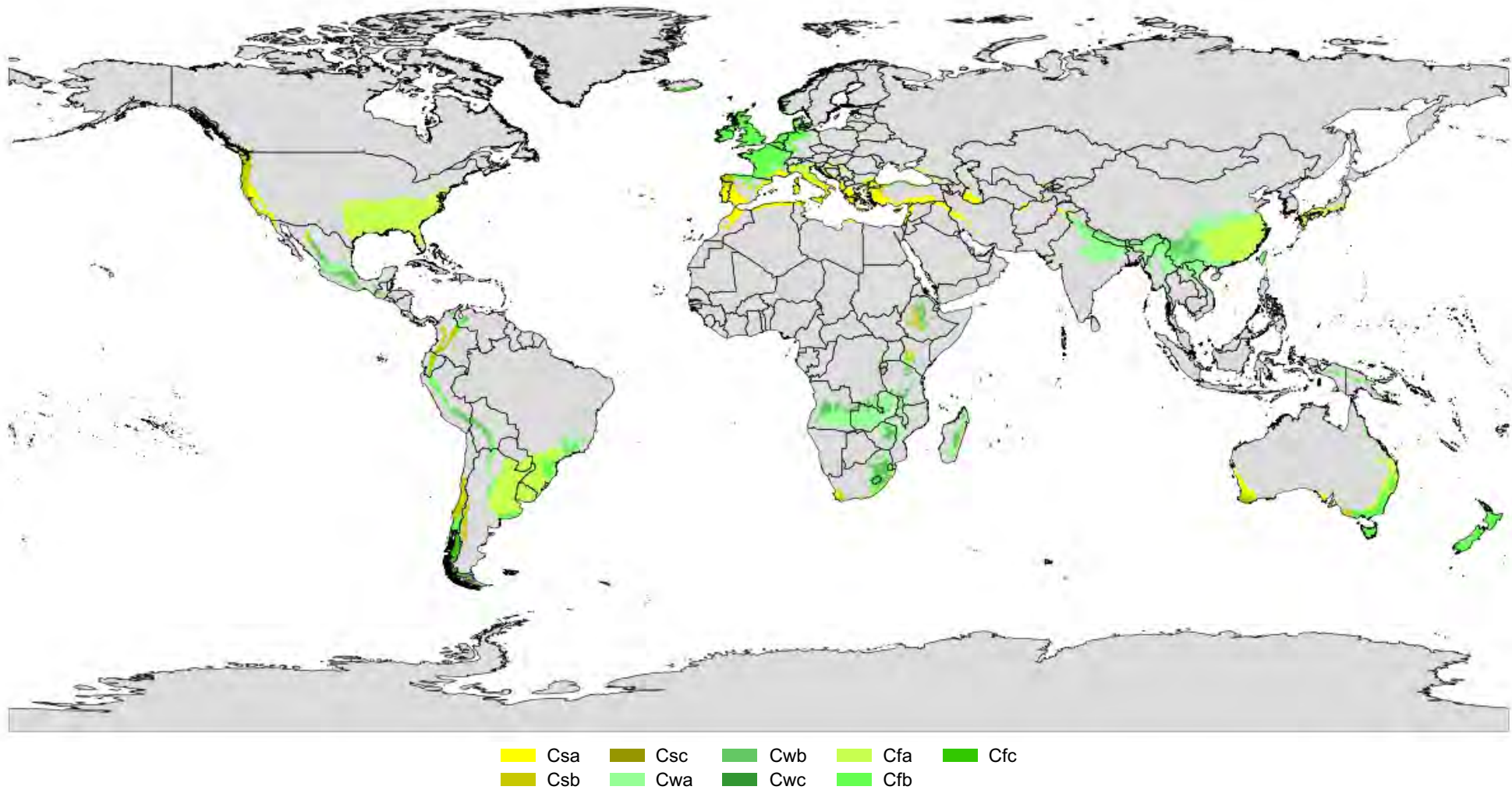


Fig. III.2_Señalización geográfica de la clasificación C del sistema Köppen-Geiger

Fuente: Beck et al.: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, Scientific Data 5:180214, doi: 10.1038/sdata.2018.214 (2018)

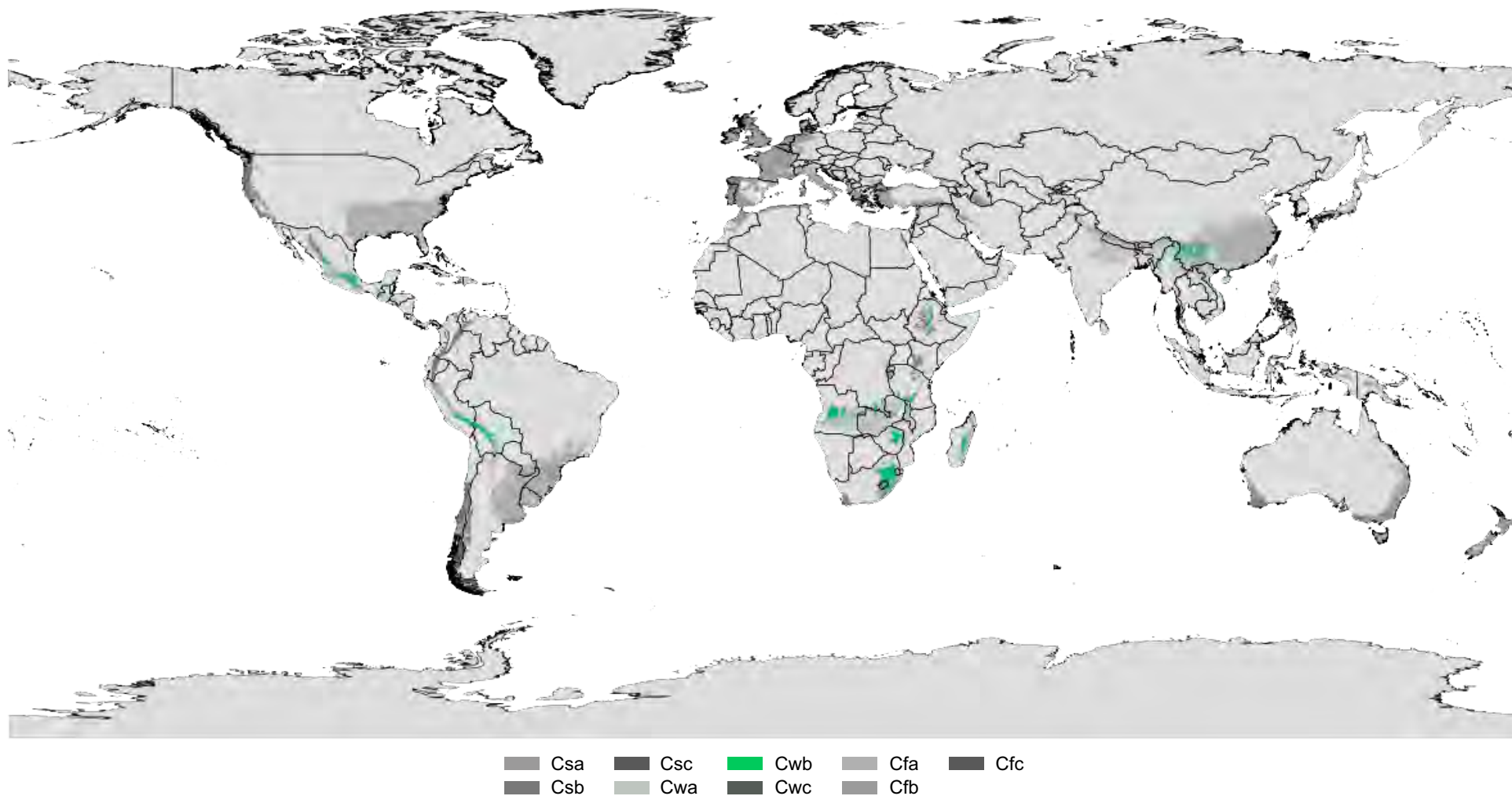


Fig. III.3_Señalización geográfica de la clasificación Cwb del sistema Köppen-Geiger

Elaboración propia a partir de: Beck et al.: Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution, Scientific Data 5:180214, doi: 10.1038/sdata.2018.214 (2018)

Niveles de contaminación de las ciudades seleccionadas.

Los principales contaminantes reconocidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) son las partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ y los gases de efecto invernadero O_3 , CO , CO_2 , SO_2 , NO_2 , así como los Compuestos Volátiles Orgánicos (VOCs), que son causantes directos de una reducción de la calidad de vida de los ocupantes de los edificios. Para el análisis comparativo entre ciudades se retomarán los indicadores de contaminación por gases de efecto invernadero y por presencia de partículas suspendidas en la atmósfera.

La Organización Mundial de la Salud propone límites permisibles para las concentra-

Tabla III.2_Ciudades caso de estudio. Características físico-geográficas y demográficas.

	Nombre Ciudad	País/ Continente	Ciudad Capital (Sí/ No)	Población	Extensión	a.s.n.m	Clasificación Köppen-Geiger	T. media anual	Precipitación Total anual
1	Ciudad de México	México/ América	Sí	8.9 mill	1945 km ²	2240m	Cwb	16.8 °C	600-700
2	Bogotá	Colombia/ América	Sí	7.4 mill (2018)	1776 km ²	2625m	Cfb	13 °C	700-800
3	Cusco	Perú/ América	No	437 538 (2017)	617 km ²	3399m	Cwb	11.2 °C	600-700
4	La Paz	Bolivia/ América	Sí	2.9 mill (2020)	472 km ²	3640m	Cwa	16 °C	500-600
5	Sucre	Bolivia/ América	No	284 536 (2017)	1768 km ²	2798m	Cwb	15.6 °C	600-700
6	Mérida	Venezuela/ América	No	289 966 (2018)	140 km ²	1630m	Cfb	18.4 °C	1500-1600
7	Ciudad de Guatemala	Guatemala/ América	Sí	923 392 (2018)	220 km ²	1500m	Cwb	19.4 °C	1200
8	Quito	Ecuador/ América	Sí	2.7 mill (2019)	374 km ²	2850m	Cfb	13.9 °C	1200
9	Adís Abeba	Etiopia/ África	Sí	3.4 mill (2012)	527 km ²	2355m	Cwb	16.3 °C	1100-1200
10	Nairobi	Kenya/ África	Sí	3.2 mill (2010)	150 km ²	1661m	Cfb	19 °C	800-900
11	Johannesburgo	Sudáfrica/ África	Sí	3.2 mill (2010)	1645 km ²	1753m	Cwb	16 °C	700-800
12	Ciudad de Dali	China/ Asia	No	652 045 (2010)	1468 km ²	1975 m	Cwb	15.6 °C	1000

■ Ciudades cuyos valores se aproximan a la a la CDMX

Fuente: <http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/practico%20climatologia%202012>

ciones de cada tipo de contaminante (Rodríguez Parra, 2019).

Para comparar los niveles de contaminación atmosférica de cada ciudad con los niveles de la ciudad de México se recopilaron datos de diferentes plataformas de información, algunos tomados de los reportes anuales oficiales en los países correspondientes.

En Bogotá de acuerdo con la norma nacional de la calidad del aire se monitorean las concentraciones de partículas, y los contaminantes gaseosos como el Ozono (O_3), Dióxido de Nitrógeno (NO_2), Dióxido de Azufre (SO_2) y Monóxido de Carbono (CO). Los datos correspondientes a esta ciudad fueron tomados de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire de Bogotá (RMCAB) prome-

diando las lecturas máximas por hora de cada estación de monitoreo a la fecha del 2 de abril de 2020.

El monitoreo de contaminantes atmosféricos de Sucre lo realiza la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Sucre. Los contaminantes principales que atienden son: el material particulado de menos de 10 micrómetros (PM_{10}), el Dióxido de Nitrógeno (NO_2) y el ozono troposférico (O_3). Los datos fueron tomados del Informe Anual 2019 Red de Monitoreo de la calidad del Aire-Sucre (Informe Anual 2019 Red de Monitoreo de la Calidad del Aire, 2019).

Los valores de contaminantes atmosféricos en Quito se tomaron del Informe Calidad del Aire 2017. La guía que reúne la informa-

Partículas suspendidas:

- PM_{10} : las partículas suspendidas PM_{10} tienen un tamaño de $10\mu m$.
- $PM_{2.5}$: las partículas suspendidas $PM_{2.5}$ tienen un tamaño de $2.5\mu m$.

Son producto de incendios forestales, emisiones volcánicas, nubes de polvo, actividades industriales, combustión de automóviles, construcción, etc.

Gases de efecto invernadero:

- NO_2 _Formado por los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad, combustión de motores)
- O_3 _Formado por la reacción con la luz solar de contaminantes como los óxidos de nitrógeno.
- SO_2 _Es generado en la combustión de fósiles (petróleo y carbón) y la combustión de fósiles con azufre para la calefacción doméstica, la generación de electricidad y los vehículos de motor.
- CO _Se produce de la combustión principalmente de los vehículos e industria. En los hogares por la combustión de quemadores de leña.
- CO_2 _Resultado de la quema de combustibles fósiles. La respiración de la mayoría de los animales del planeta produce este gas.

Compuestos volátiles orgánicos:

Con compuestos volátiles emitidos por pinturas, barniz, desodorante, mobiliario, solventes, etc.

ción de la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire sobre los siguientes contaminantes criterio: Monóxido de Carbono (CO), Dióxido de Nitrógeno (NO₂), Dióxido de Azufre (SO₂), Ozono (O₃) y el material particulado PM₁₀ y PM_{2.5} (Díaz Suárez, 2019).

Los datos de los niveles de contaminación atmosférica para Ciudad de Guatemala, Adis Abeba, Nairobi, Johannesburgo y Ciudad de Dali se obtuvieron del sitio www.aqicn.org actualizados en tiempo real a la fecha del 2 de abril de 2020.

La comparación de parámetros entre ciu-

- Concentración límite OMS
- Concentración límite NOM
- Concentraciones que sobrepasan los límites permitidos

Tabla III.3_Relación de concentraciones de contaminantes de ciudades.

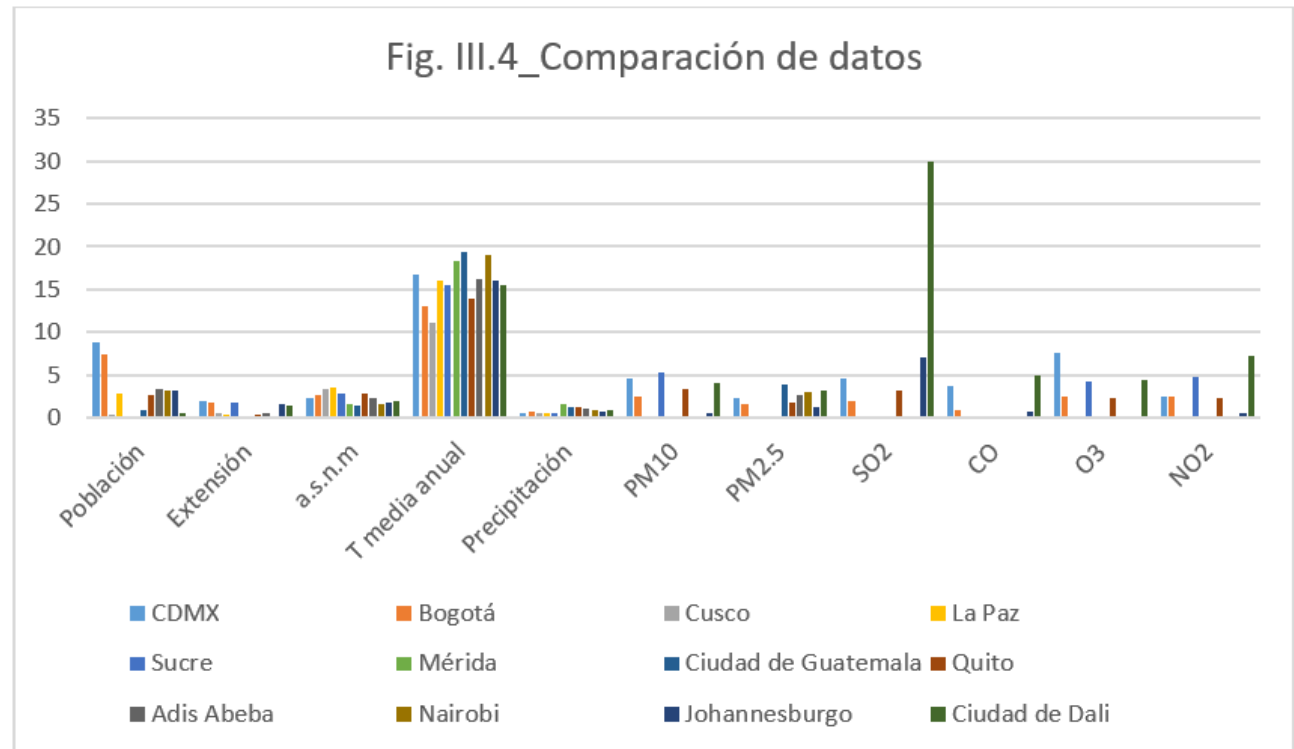
Tipo de contaminante	PM ₁₀ (µg/m ³)	PM _{2.5} (µg/m ³)	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂
Concentración límite según OMS	20 media anual	10 media anual	20 µg/m ³ de 24h	-	0.100 ppm de media en 8h	40 µg/m ³ de media anual
	50 media en 24h	25 media en 24h	500 µg/m ³ de media de 10min	-	-	200 µg/m ³ de media en 1h
Concentración límite México	NOM-025	NOM-025	NOM-022-SSA1-2010	NOM-021-SSA1-1993	NOM-020-SSA1-2014	NOM-023
	40 media anual	12 media anual	110 µg/m ³ de 24h	11 ppm media de 8h	0.070 ppm de media en 8h	395 µg/m ³ de media en 1h
	75 media en 24h	45 media en 24h	66 µg/m ³ de media anual	-	-	Á
	Á	-	-	ISO 4224 9ppm media 8h	ASHRAE 62.1-2016 0.107 ppm de media en 8h	Á
Concentración en México (2017)	47 media anual	23 media anual	4.7 ppb concentración media anual	3.8 ppm media de 8h	0.076 ppm promedio de concentraciones máximas diarias	25 ppb concentración media anual
Bogotá (2018)	24.8 media 1h	15.61 media en 1h	1.8925 ppb media en 1h	0.87 ppm media en 1h	29.94 ppb media en 1h	24.31 ppb media en 1h
	Á	-	-	-	Á	Á
Cusco						
La Paz						
Sucre (2018)	52.68 media anual	-	-	-	42.0 ppb media anual	48.3 µg/m ³ media anual
Ciudad de Guatemala	-	38.7 media en 24h	-	-	-	-
Quito (2017)	33.21 media anual	17.26 media anual	3.25 media anual	-	23.625 ppb media anual	24.08 µg/m ³ media anual
	-	-	-	0.0024 media en 8h	108 ppb media en 8h	-
Adis Abeba (2020)	-	26.8 media en 24h	-	-	-	-
Nairobi (2020)	-	30.1 media en 24h	-	-	-	-
Johannesburgo (2020)	6 media en 24h	12 media en 24h	7 media en 1h	0.7 media en 8h	-	5 ppb media en 1h
Ciudad de Dali (2020)	-	-	30 media en 1h	-	-	73 ppb media en 1h
	-	-	-	4.9 media en 8h	45 ppb media en 8h	-
	41 media en 24h	32 media en 24h	-	-	-	-

dades se puede observar en la Fig. III.4, gráfica de barras que reúne todos los datos recopilados.

El análisis permite discriminar entre las ciudades cuyas características se asemejan más a las condiciones de la Ciudad de México.

De acuerdo a la cantidad de población la ciudad de Bogotá es la que más se aproxima a la cantidad de población de la ciudad de México, mientras que las otras ciudades observadas, a pesar de ser consideradas ciudades grandes, se mantienen por debajo de la mitad de la cantidad de población de la ciudad de referencia.

Con respecto a la extensión territorial, Bogotá, Sucre, Johannesburgo y Ciudad de



Dali se aproximan a las dimensiones de CDMX.

Todas las ciudades tienen clasificación climática “C” en el sistema Köppen-Geiger, pertenecen al tipo de clima templado de montaña; están ubicadas a más de 1500m de altura sobre el nivel del mar, las temperaturas medias oscilan entre los 14°C y 17°C, con acumulados de precipitación entre 600mm y 1000mm. Bogotá, Sucre y Cusco presentan exactamente los mismos acumulados de precipitaciones que la Ciudad de México.

Con respecto a los niveles de contaminación la Ciudad de Dali y la Ciudad de Guatemala tienen índices muy semejantes a la Ciudad de México, mientras que en Quito y Bogotá se registran aproximadamente la

mitad de los niveles de contaminantes atmosféricos.

Se determinó que la selección de casos de estudio será principalmente en las ciudades de Bogotá y Sucre, por encontrarse en el continente Americano y además de compartir características físico geográficas y demográficas con la Ciudad de México, comparten el componente cultural, que para los efectos de este trabajo se considera importante. Las ciudades de Dali y Johannesburgo se considerarán para tomar casos de referencia.

Fig. III.5_Ciudades seleccionadas en Centro y Sur América.



III.2_Análisis comparativo de casos de estudio

Para realizar un análisis más preciso de las prácticas actuales en términos de diseño y construcción sustentable, se seleccionaron edificios representativos de las ciudades de Bogotá en Colombia, Johannesburgo en Sudáfrica y Santa Cruz en Bolivia. No se encontraron ejemplos para los efectos técnicos de esta tesis en la ciudad de Sucre. Se tomaron datos de los edificios seleccionados en forma de fichas, en las cuales se indica la localización, el año de construcción, la intención y objetivo del proyecto y el arquitecto a cargo del diseño. De igual manera se extrajeron datos sobre la volumetría, los materiales constructivos utilizados, las características del entorno y la localización, así como elementos de diseño sustentable representativos del proyecto.

Clínica Marly

Datos generales:

Centro de salud enfocado a la recuperación de los pacientes promoviendo su conexión con la naturaleza.

-Localización: Chía, Bogotá, Colombia.

-Año de construcción: 2019.

-Arquitectos: Manuel Ricardo Orozco/

-Cuéllar Serrano Gómez

-Altura total: 5 niveles sobre el terreno-5Ha

Volumétrico espacial:

Basamento continuo con superficies acristaladas. Sobre el basamento se elevan dos torres de 5 niveles cada una, orientadas al Norte. A lo largo de la fachada se proyecta un elemento horizontal de pérgola que cubre el acceso principal del edificio. El elemento proyecta sombra sobre los pasillos acristalados del basamento.

Estético-formal:

La envolvente está resuelta como un gran muro cortina acristalado, que permite la entrada de luz y sol en determinados horarios del día. Los pasillos de circulación rodean las salas del edificio, y además sirven como conector con el área exterior. El acristalamiento permite la conexión visual con los espacios ajardinados.

La clínica se ubica sobre un extenso terreno cubierto por áreas verdes. El 70% del área verde está ocupado por césped. Cuenta con un estanque artificial en el predio.

Recursos de sostenibilidad:

Diseño para aprovechar la iluminación natural al interior del espacio. Enfoque en el bienestar y la salud de los ocupantes. Materiales claros en fachadas para una mayor reflexión de las cargas térmicas. Uso de materiales reflectantes al interior para reducir el uso de energía eléctrica para iluminación.

Se ubica el estacionamiento en semisótano, a fin de reducir la superficie impermeable en el terreno. Sistema de fachada ventilada que permite el acondicionamiento térmico natural de los espacios interiores. Sistema de suelo radiante. Sistema de cubierta con aislamiento térmico y acústico. Sistema de cubiertas verdes sobre el basamento para un mayor aislamiento térmico.

Relación con el entorno:

Se ubica en una zona suburbana, alejado del centro de la ciudad. No se identificaron servicios de transporte público.

Técnico constructivo:

Estructura de hormigón armado y acero. Carpintería de aluminio, recubrimientos interiores de madera. Sistema de fachada ventilada.

Materiales:

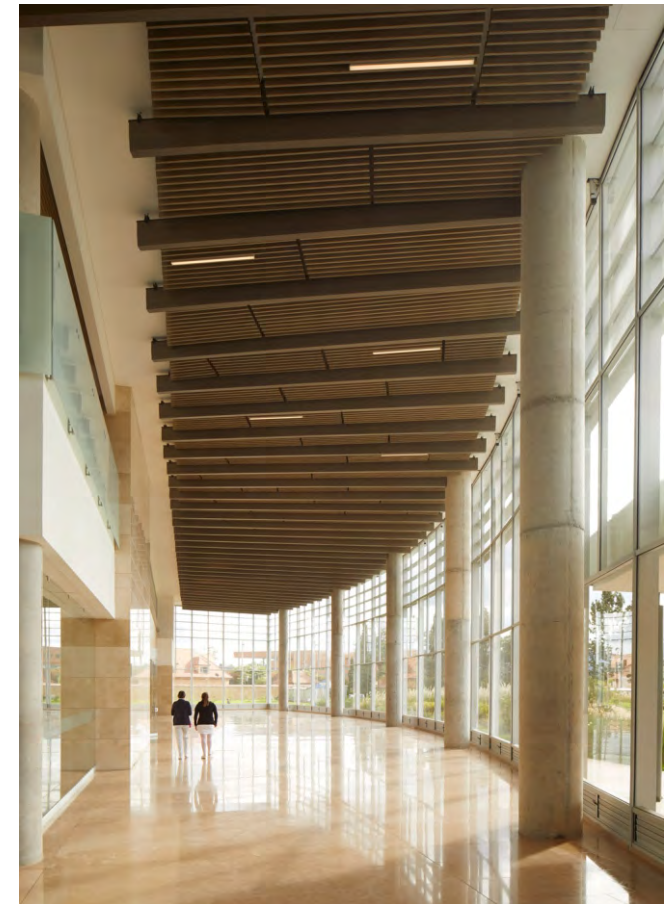
-Estructura de Hormigón armado

-Estructura de acero

-Recubrimientos interiores en madera FSC

-Mármol en pisos y muros interiores

-Fachada ventilada cerámica



Complejo Atrio

Datos generales:

Edificio de uso mixto residencial, de oficinas y hotel. Cuenta con la certificación LEED Gold.

-Localización: Bogotá, Colombia.

-Año de construcción: 2020.

-Arquitectos: Rogers Stirk Harbour + Partners/
Mazzanti

-Altura total: 48 niveles sobre el terreno, 216 m

Volumétrico espacial:

Tipología de dos torres sobre basamento, destinado a usos públicos. Altura interior de entrepiso es de 2.80 m. El basamento se complementa con volúmenes de 4.2 m de altura destinados para uso comercial. Sobre el basamento se resuelve una gran plaza pública comercial que permite articular funcionalmente todos los elementos del complejo.

Estético-formal:

La envolvente está resuelta como un gran muro cortina acristalado, que permite la entrada de luz y sol en determinados horarios del día. Los pasillos de circulación rodean las salas del edificio, y además sirven como conector con el área exterior. El acristalamiento permite la conexión visual con los espacios ajardinados.

La clínica se ubica sobre un extenso terreno cubierto por áreas verdes. El 70% del área verde está ocupado por césped. Cuenta con un estanque artificial en el predio.

Recursos de sostenibilidad:

Conexión directa con el sistema de transporte público transmilenio, próximo al aeropuerto. En fachada se utilizó un material con bajos niveles de SHGC (Solar heat gain coefficient), para reducir la ganancia térmica al interior, con un sistema de ventilación que posibilita regular la temperatura. De igual manera se potencia la entrada de luz natural a los espacios, minimizando el consumo de energía eléctrica para iluminación. Esta estrategia se acompaña con un sistema de control automático BMS para monitorear y controlar los horarios de uso de la iluminación artificial. Uso de sistema BIM, así como de softwares avanzado de planeación de la construcción para reducir cambios y desperdicios durante la construcción.

Relación con el entorno:

Se ubica en el centro de Bogotá, en una zona de alto tránsito vehicular y vasta conectividad.

Técnico constructivo:

Estructura mixta, metálica antisísmica, y placa de cimentación de concreto. Sistema estructural a vista.

Materiales:

- Cimentación de hormigón armado
- Estructura antisísmica de acero
- Fachada ventilada acristalada de muro cortina
- Recubrimiento interior con madera



Cortezza-Esquina Empresarial

Datos generales:

Edificio de uso comercial de oficinas, con una terraza jardín en la cubierta con una zona de estar/comedor para el uso común de los habitantes. LEED Gold Core and Shell.

-Localización: Bogotá, Colombia.

-Año de construcción: 2018.

-Arquitectos: Terranum

-Altura total: 7 niveles y 3 sótanos

Volumétrico espacial:

El edificio es un cuerpo esencialmente prismático. Debido a su orientación con respecto al sol, cuenta con elementos de protección solar en la fachada oeste, al igual que los muros ciegos están orientados en esta dirección. El 50% del volumen se eleva del suelo permitiendo un planta baja de tránsito libre.

Estético-formal:

La parte Norte, y Este del edificio está recubierta con un extenso muro cortina de doble piel de vidrio oscuro. Los brise-soleils verticales se usan como un recurso de diseño en la composición de la fachada. La planta baja libre está ocupada por un espacio público abierto. En la cubierta se diseñó un área de comedor con terraza ajardinada para uso público.

Recursos de sostenibilidad:

Genera un espacio abierto para uso público en la comunidad. Se utiliza la cubierta jardín como

estrategia de recolección de agua de lluvia. Se implementó un sistema de circulación de agua recolectada para su uso en riego y en aparatos sanitarios. Se ubica en una zona céntrica y con conectividad dentro de la ciudad.

Se utiliza la doble piel en la fachada, utilizando un vidrio oscuro que controla la ganancia térmica al interior de los espacios y minimiza el requerimiento energético para acondicionamiento climático. de igual manera permite la entrada de luz natural, reduciendo las cargas por iluminación,

La madera utilizada se extrajo de bosques certificados. Se utilizan acabados de materiales pétreos con bajo contenido de VOC's.

Relación con el entorno:

Se ubica en una zona céntrica de la ciudad de Bogotá. El edificio genera un nuevo espacio de uso común e integra funcionalidades públicas en planta baja.

Técnico constructivo:

Estructura de hormigón armado y acero. Envoltente de muro cortina de doble piel.

Materiales:

-Estructura de hormigón armado y acero

-Acabados en madera de pino certificada FSC

-Mármol en pisos

-Piedra pizarra en muros

-Pinturas de bajo contenido VOC



Kubik Virrey I y II

Datos generales:

Edificio de uso exclusivo residencial, ubicado frente al parque El Virrey. Cuenta con la certificación LEED Gold. El concepto detrás del diseño es la integración del interior con el exterior natural.

- Localización: Bogotá, Colombia.
- Año de construcción: 2019.
- Arquitectos: Kubik lab
- Altura total: 9 niveles sobre el terreno

Volumétrico espacial:

Se compone de dos torres y un plano que funciona como espacio público conector con el parque El Virrey. El interior del lobby no tiene cubierta y está rodeado de plantas colgantes, generando un vacío en la volumetría.

Estético-formal:

La envolvente combina el acristalamiento con paneles móviles, que permiten regular la entrada de luz al interior. Predomina el uso de materiales naturales en los interiores, evocando un entorno natural.

Recursos de sostenibilidad:

Lobby interior ahuecado y rodeado de jardines colgantes generando un efecto de vacío/termochimenea que permite la circulación pasiva de aire entre los departamentos. Cuenta con un sistema de recolección de aguas de

lluvia y un sistema de tratamiento de aguas grises, de modo que se puede utilizar el agua tratada en el riego de las áreas verdes y en sanitarios.

El equipamiento sanitario es de alta eficiencia. Cuenta con un sistema de control automático para un mayor ahorro energético a partir del control de la iluminación.

Las ventanas acristaladas permiten la entrada de luz natural, y el vidrio de alta eficiencia impide la ganancia térmica excesiva al interior de los espacios.

Los materiales utilizados en los acabados son de origen natural. Se utilizan recubrimientos de bambú con certificado FSC. El diseño del edificio se enfoca principalmente en el bienestar y la salud de los ocupantes.

Relación con el entorno:

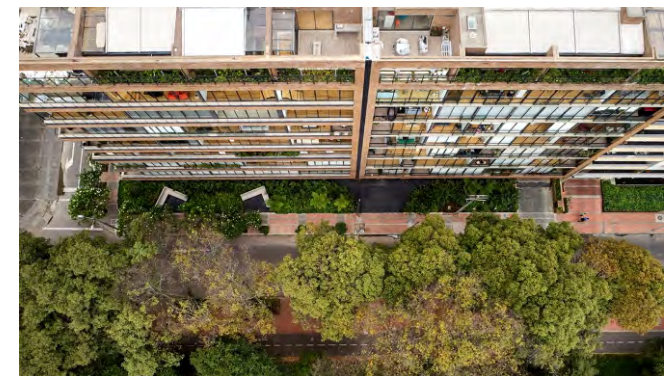
Se ubica en el centro de Bogotá, próximo al parque El Virrey. Se conecta directamente con un gran espacio abierto. El proyecto previó las visuales hacia el entorno natural, buscando la calidad de las visuales de los ocupantes.

Técnico constructivo:

Estructura de metal. Envolvente con acristalamiento horizontal.

Materiales:

- Cimentación de hormigón armado
- Estructura de acero
- Cristal en cierres de envolvente.
- Recubrimiento interior con madera de bambú FSC



Centro Thabo Mbeki

Datos generales:

Espacio multidisciplinar dedicado a preservar el legado del presidente que sucedió a Nelson Mandela tras el final del apartheid. Su diseño evoca los silos del grano.

-Localización: Johannesburgo, Sudáfrica.

-Año de construcción: 2020.

-Arquitectos: David Adjaye/ MMA Design Studio

-Area total: 4500 m²

Volumétrico espacial:

El edificio está compuesto por 8 volúmenes cilíndricos rematados por cúpulas. Los cilindros tienen muros ciegos, de modo que la única entrada de luz es a través de cortes transversales en las cúpulas, cuidadosamente orientados para permitir la entrada de luz al interior del espacio. Los cilindros están conectados entre sí por un volumen prismático.

Estético-formal:

La envolvente la componen gruesos muros de adobe y piedra. El espesor del muro coadyuva a las propiedades térmicas del material. El volumen conector, es un prisma intersticial que aprovecha la energía geotérmica para mantener una temperatura de confort al interior del edificio.

Recursos de sostenibilidad:

La orientación de la apertura de las cúpulas y el uso de paneles fotovoltaicos contribuyen al máximo aprovechamiento de la luz natural y la energía solar. La inercia térmica y la energía

geotérmica son recursos pasivos que se utilizan en el proyecto. Los muros gruesos acumulan la energía térmica durante el día para liberarla al interior del edificio durante la noche. Se utilizan materiales naturales, con técnicas tradicionales como el adobe y el terrazo conformado con piedra local, esto permite reducir al máximo la huella de carbono de toda la vida útil del material. Un sistema geotérmico permite regular la temperatura durante la noche.

Relación con el entorno:

Se ubica en la Riviera, en el centro de la ciudad. La localización del edificio pretende garantizar la conectividad. El volumen conector acoge un espacio público transitable.

Técnico constructivo:

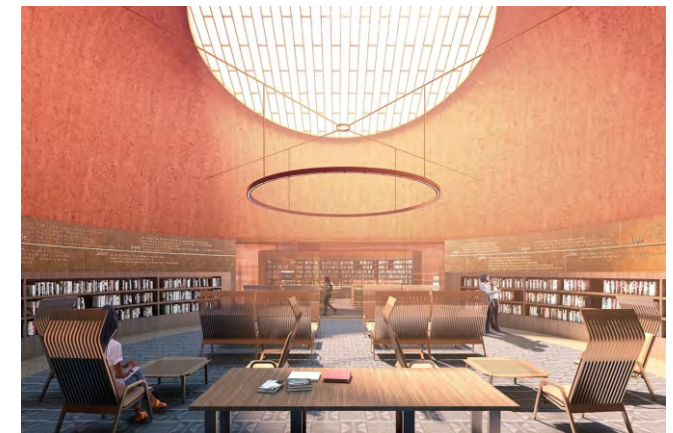
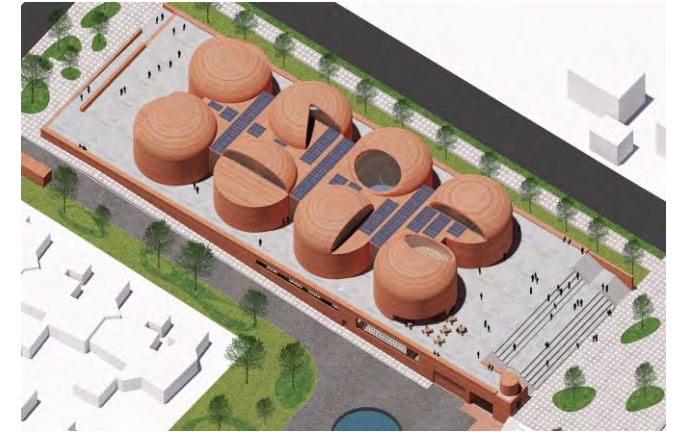
Estructura de tierra apisonada.

Materiales:

-Muros de adobe

-Pisos de terrazo de piedra local

-Revestimiento con madera local



Apartamentos Drivelines

Datos generales:

Edificio de vivienda colectiva. Técnica de construcción prefabricada a partir de reutilizar 140 contenedores adquiridos en el puerto de la ciudad. Usos comerciales en planta baja.

- Localización: Maboneng, Johannesburgo, Sudáfrica.
- Año de construcción: 2017.
- Arquitectos: Lot-EK
- Altura total: 7 niveles sobre el terreno

Volumétrico espacial:

El edificio está compuesto por un sistema estructural prefabricado cuya célula principal son los contenedores de metal. Estos se agrupan para formar dos torres con departamentos tipo estudio de 40 a 60 m². cada departamento incluye un espacio abierto privado con vista al patio central entre los dos volúmenes. El edificio tiene una planta triangular respetando la configuración del lote. Un corte diagonal genera los grandes ventanales de cada departamento.

Estético-formal:

La fachada se caracteriza por el color verde propio de los contenedores, escogido a partir de la disponibilidad de unidades. La estructura la dicta la modulación de las células. Hacia el patio interior de desarrollan las escaleras de acceso.

Recursos de sostenibilidad:

La reutilización de los materiales es la principal característica de este proyecto. La célula constructiva es el contenedor de carga. La selección del color fue intencional a fin de evitar pintar el exterior de los módulos.

Los ventanales extensos en los departamentos permiten la entrada de luz natural.

El acondicionamiento térmico al interior se logró a partir de utilizar materiales con propiedades térmicas aislantes.

Relación con el entorno:

Se ubica en un distrito de rápido crecimiento y aceleración comercial de Johannesburgo. La localización céntrica garantiza la proximidad a vías transitadas y sistemas de transporte público existentes.

Técnico constructivo:

Estructura modular prefabricada a partir de contenedores metálicos.

Materiales:

- Sistema prefabricado con contenedores metálicos.
- Estructura de acero
- Cristal en cierres de envolvente.



Ciudad Empresarial Sarmiento Angulo - Torres T3 y T4

Datos generales:

Complejo corporativo de uso mixto con una plaza pública en planta baja. El objetivo principal de las torres T3 y T4 es la sustentabilidad.

- Localización: Bogotá, Colombia.
- Año de construcción: 2011.
- Arquitectos: Construcciones Planificadas
- Área total: 54571 m²
- Altura total: 10 pisos, 3 sótanos, 2 torres

Volumétrico espacial:

Está constituido por dos volúmenes con planta en "L", que conforman una plaza interior. Son volúmenes sólidos, con movimientos en fachada para generar dinamismo en una estructura sólida.

Estético-formal:

Se utilizan paneles de protección solar en la envolvente, colocados de acuerdo a una modulación de la carpintería. Los volúmenes son de apariencia maciza, cubiertos por el muro cortina de cristal.

Recursos de sostenibilidad:

Se utiliza la doble fachada para permitir la ventilación y la regulación térmica al interior de los espacios. En el techo se instaló una cubierta vegetal para captar agua de lluvia, que se

canaliza y procesa en una planta de tratamiento. El agua tratada se utiliza en los sanitarios y en el propio riego de las áreas exteriores. Los espacios interiores son de planta libre rodeados por cristales y con acabados de tonos claros, a fin de aprovechar al máximo la luz natural y reducir el consumo energético por iluminación. Las fachadas acristaladas tienen la función de proveer visuales de calidad al parque, la ciudad y los cerros.

Relación con el entorno:

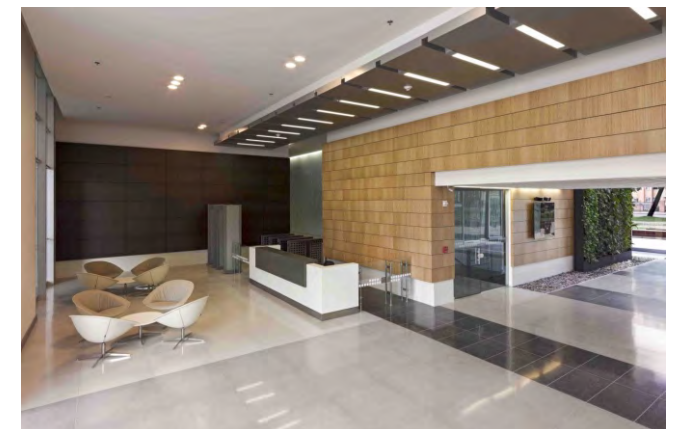
Los edificios forman parte de un plan maestro de nuevo desarrollo que se encuentra en construcción. El conjunto genera espacios abiertos para uso del general del público.

Técnico constructivo:

Estructura mixta de hormigón armado y acero. Fachadas de cristal y aluminio.

Materiales:

- Estructura de hormigón armado
- Pisos de cerámica y mármol
- Carpintería de aluminio y cristal



Oficinas Google en Colombia

Datos generales:

Edificio de uso mixto, en los 4 primeros pisos cuenta con un hotel, y en los 6 pisos restantes aloja oficinas como Google (2 niveles), Kimberly Clarks y Shire. Certificación LEED Platino, en la versión LEED v3.

-Localización: Bogotá, Colombia

-Año de construcción: 2011.

-Arquitectos: Green Loop (Consultora de sustentabilidad)

-Altura total: 2 niveles

Volumétrico espacial:

El proyecto abarca dos pisos dentro de un edificio comercial de oficinas, y el enfoque sustentable está basado en el espacio interior.

Los espacios están diseñados para optimizar la entrada de luz natural. Se diseñaron muros verdes dentro del edificio de modo que las personas siempre estén en contacto con un elemento natural.

Estético-formal:

El diseño se caracteriza por el uso de colores y la combinación osada de elementos que incentivan la creatividad. El mobiliario es ergonómico y los materiales de tonos claros reflectantes.

Recursos de sostenibilidad:

Cuenta con un sistema de ventilación natural en las fachadas más aislamiento acústico en fachadas y entrepisos. En el edificio se prohibió utilizar adhesivos con químicos nocivos, y se utilizaron pinturas con bajo contenido de VOCs. Los materiales se seleccionaron cuidadosamente de acuerdo al análisis del ciclo de vida.

Después de construido el edificio se llevó a cabo un procedimiento de evaluación de la calidad del aire para garantizar que los niveles de gases y partículas suspendidas fueran los adecuados para la ocupación definitiva del edificio. Todas las luminarias utilizadas son LED, así como todos los equipos instalados cuentan con la etiqueta de eficiencia Energy Star. Todos los aparatos sanitarios son de bajo consumo.

Relación con el entorno:

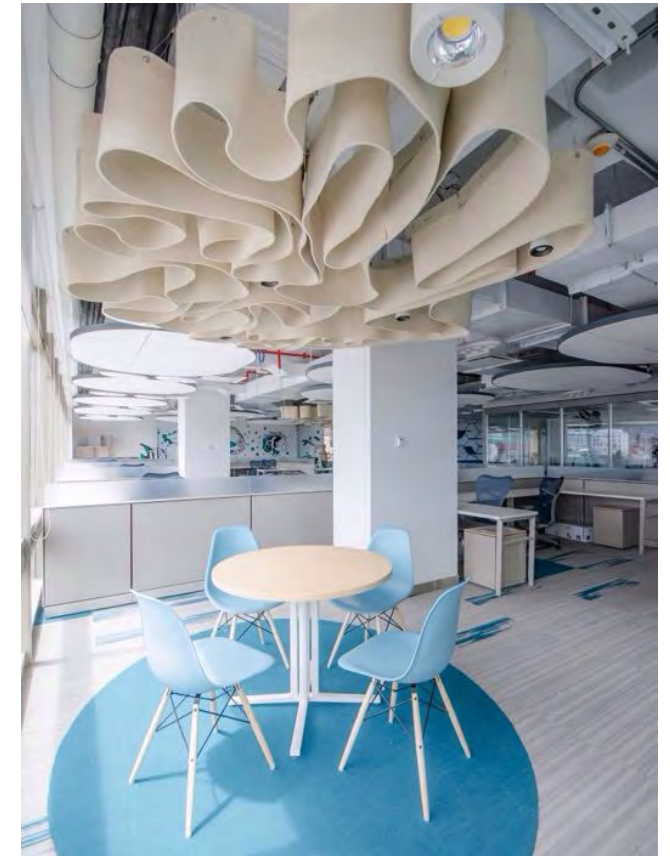
Las oficinas de Google se ubican en un centro urbano bien conectado. Está próximo a una red de ciclovía y sistemas alternativos de transporte público. Para incentivar el uso de la bicicleta se redujo el área de estacionamiento y se instalaron 41 racks para bicicletas.

Materiales:

-Los materiales tienen componentes reciclados.

-Los acabados tienen bajo contenido de VOCs

-La madera utilizada es de pino con certificado FSC.



One Soul

Datos generales:

Proyecto de vivienda que intenta integrar el arte, la naturaleza y estilo de vida. Tiene como objetivo potenciar el bienestar y la calidad de vida de las personas.

-Localización: Santa Cruz, Bolivia.

-Año de construcción: 2020.

-Arquitectos: Smart Studio

-Altura total: 6 niveles

Volumétrico espacial:

El edificio es esencialmente un volumen prismático en el que se aprecia un enchape de materiales naturales en fachada, lo que le da la armonía y el aspecto "vintage" de la marca. Resalta el muro verde natural, lo que le aporta el elemento natural y el frescor a la envolvente.

Estético-formal:

Los departamentos constituyen la célula modular del proyecto. Se aprecia en fachada la segmentación del edificio. Las cortinas vegetales se comportan como una doble piel del edificio y se extienden sobre los cristales de los balcones. Se utilizaron como un recurso para balancear la temperatura al interior del edificio.

Recursos de sostenibilidad:

El proyecto se enfoca en el bienestar de los ocupantes a partir de conectar la vida al interior de los espacios con un fragmento de naturaleza. Cuenta con una doble fachada ventilada para

facilitar la circulación del aire. Los departamentos tienen la capacidad de ventilarse naturalmente. Los balcones y amplios ventanales permiten la entrada de luz natural. El edificio cuenta con un sistema de captación de agua de lluvia y un sistema de recirculación para utilizar el agua pluvial en el riego de los jardines de las fachadas y la terraza superior. El proyecto cuenta con una huerta para producción de comida local.

Relación con el entorno:

Se ubica próximo al centro y norte de Santa Cruz, conectado mediante un sistema de transporte público, lo que permite reducir las distancias y la necesidad del automóvil.

Técnico constructivo:

Estructura de hormigón armado.
Sistema de fachada ventilada.

Materiales:

- Estructura de hormigón armado
- Fachada ventilada de material sintético
- Revestimiento de madera en espacios interiores
- Carpintería de aluminio y cristal



III.2_Análisis comparativo de casos de estudio

III.2.1_Procesos metodológicos de diseño

Los proyectos analizados constituyen referentes de diseño sustentable. Destacan de los edificios construidos tradicionalmente en cuanto a los materiales utilizados para su construcción, las tecnologías implementadas, pero sobre todo en los procesos desde la etapa de diseño hasta la construcción.

Para las oficinas de Google en Bogotá y el edificio Cortezza Empresarial en la misma ciudad, fue fundamental la selección de la ubicación como parte del proceso de diseño y conceptualización. En ambos casos, el edificio se situó en una zona céntrica conectada por un adecuado y suficiente sistema de

transporte público y con acceso a ciclovías. Esta estrategia tiene un triple objetivo: reducir las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de vehículos, incentivar el uso de la bicicleta, y contribuir a la mejora de la salud de los ocupantes del edificio a través del ejercicio físico.

La elección de la localización atiende la proximidad a espacios abiertos y de uso público. Varios de los edificios analizados se ubican próximos a grandes parques y espacios abiertos, sin embargo, otros proyectos localizados en centros densamente poblados, o en barrios consolidados con edificacio-

nes, optan por generar sus propios espacios abiertos, con vegetación y de uso totalmente público. El proyecto para Centro Thabo Mbeki en Johannesburgo propone generar un espacio público en la planta baja del propio edificio, mientras la disposición de los bloques de apartamentos Drivelines genera una plaza pública que es antesala de espacios de uso comercial.

El espacio abierto propicia el esparcimiento y favorece la salud mental y física de los habitantes, a la vez que contribuye a la regeneración comunitaria; proporciona un punto de intercambio cultural y natural. De igual

manera, las áreas verdes y las superficies permeables facilitan la infiltración del agua al subsuelo, reducen la escorrentía y por tanto, la contaminación superficial de la tierra. En ciudades donde el recurso hídrico es escaso como la Ciudad de México, los espacios abiertos deben ser planeados de acuerdo al consumo de las especies vegetales que se utilicen en su diseño, y considerar pavimentos permeables.

Otro de los elementos identificados en el proceso de diseño es la elección del sistema estructural. En Complejo Atrio en Bogotá y los departamentos Drivelines en Johannesburgo los diseñadores optaron por un sistema estructural prefabricado, generando el mínimo desperdicio posible. En el caso de Complejo Atrio, el sistema estructural de acero tiene una huella de carbono supe-

rior a la que pudiera haber tenido un sistema de hormigón armado, pero la selección del sistema responde a las características sistémicas del suelo y la altura significativa del edificio. En Drivelines, los diseñadores fueron un paso adelante, reutilizando contenedores de carga y convirtiéndolos en viviendas, de modo que el impacto en la huella de carbono es casi nulo.

El elemento en común de todos los edificios y proyectos analizados es el interés en minimizar las ganancias térmicas al interior de los espacios. En ese sentido, los diseñadores consideraron la orientación del sitio con respecto a la trayectoria solar y las condiciones climáticas. Esto definió las características físicas de la volumetría y el diseño y las propiedades térmicas de la envolvente.

En la Clínica Marly los muros con mayor

exposición al Sol son ciegos en un 90%, mientras que las fachadas acristaladas están orientadas de modo que permiten una eficiente iluminación natural. En este proyecto se incluyeron elementos horizontales de protección solar, y se utilizan materiales con propiedades aislantes.

El edificio Cortezza Esquina Empresarial, la elección fue de un cristal oscuro con doble capa, y brise soleils verticales en la fachada oeste.

El arquitecto David Adjaye, diseñador del Centro Thabo Mbeki utilizó muros completamente sólidos con lucernarios en las cúpulas de las cubiertas del proyecto. Estas cúpulas están orientadas de modo que permitan entrar la luz solar necesaria para la función que se desarrolla dentro de cada espacio. Ante las variaciones de temperatura entre el

día y la noche se seleccionó el adobe como material para los muros, debido a sus propiedades de inercia térmica de retener la energía térmica durante el día para liberarla al interior del espacio en la noche.

En Kubik Virrey I y II, Kubik Lab optó por una estrategia de ventilación pasiva, ante la necesidad de refrescar el interior del edificio durante el día. Para ello, el diseñador estudió la dirección y velocidad predominante del viento durante el año, dato que le permitió orientar las aberturas de la volumetría para generar el efecto de vacío-chimenea en la columna de aire interior del edificio.

Las estrategias mencionadas resultaron en una reducción del consumo energético de los proyectos, y por consiguiente en una reducción del impacto medioambiental y en la huella de carbono general de la edificación.

El análisis de edificios construidos con un criterio de sustentabilidad nos permite resumir el proceso de diseño en los siguientes aspectos:

- Se deberán establecer los objetivos de sustentabilidad antes de seleccionar la ubicación del proyecto.

- Valorar las posibilidades de reutilización o renovación de un edificio existente, antes de construir una nueva edificación.

- Se requiere de un análisis del entorno construido, para identificar como es beneficiosa o no la nueva intervención constructiva.

- Identificar áreas con oportunidad de densificación, conectadas por sistemas de transporte público y que cuenten o no con espacios abiertos.

- Se deberá hacer una investigación de las condiciones climáticas del sitio seleccionado,

y la propuesta de diseño deberá atender el recurso hídrico y energético buscando mayor optimización.

- La selección de los sistemas se deberá tener en cuenta prácticamente en la etapa conceptual del proyecto, al igual que la elección de los materiales, lo cual permite anticipar con tiempo suficiente el ciclo de vida de cada tecnología y material seleccionado.

- Se deberá planear el ciclo de vida de la edificación idealmente en el esquema Cradle to Cradle.

III.2_Análisis comparativo de casos de estudio

III.2.2_Síntesis de elementos de diseño a partir del análisis de los casos de estudio

El marco teórico y los ejemplos prácticos analizados han permitido englobar las estrategias de diseño en 6 grupos técnicos o etapas del proceso. La Tabla III.7 resume los elementos por grupo técnico y muestra el desglose de estrategias, así como su posible aplicación en la Ciudad de México, dadas sus características.

La primera etapa aplicable es la “Planeación”. Constituye el primer acercamiento al proyecto y se observó en las narrativas del proceso de diseño de los casos de estudio. Durante esta etapa, y antes de establecer las

bases conceptuales se deben establecer los objetivos de sustentabilidad y los alcances.

El siguiente paso es identificar un equipo de diseño calificado, capaz de optimizar los recursos desde la propuesta técnica. El equipo se debe seleccionar en una mesa de trabajo, antes de comenzar el diseño y se deberá discutir con cada miembro los objetivos de sustentabilidad. El trabajo interdisciplinario potenciará la sustentabilidad del proyecto. El tipo de edificación definirá los requerimientos de confort y tecnologías.

En esta etapa de planeación se deberá

valorar el impacto económico, ambiental y social del proyecto.

La siguiente etapa es la de “Análisis del entorno e identificación de recursos climáticos”. Durante este proceso, y previo a la definición de la ubicación se deberán estudiar las características del entorno para seleccionar la ubicación más favorable y de menor impacto medioambiental. Se llevan a cabo estudios de suelo y con estos se detecta si es un suelo lacustre, rocoso, arcilloso, si está contaminado, o si el terreno es hábitat de alguna especie animal o vegetal amenazada.

En esta etapa de investigación se ubica la proximidad a recursos hídricos naturales o artificiales, y se identifican, si existiesen, servicios municipales de suministro de energía renovable, infraestructura disponible y su capacidad. Se deberá realizar un levantamiento de servicios para comprobar si la oferta del nuevo proyecto es un complemento a lo existente o si es económicamente redundante. Se analizan los recursos climáticos: precipitaciones, vientos, asoleamiento, humedad relativa, propiedades geotérmicas del suelo, temperatura; y se hace una investigación de las especies vegetales y animales autóctonas o adaptadas del lugar.

La tercera etapa es la “Localización”. Las dos primeras etapas aportan elementos sufi-

cientos para asentar la ubicación del proyecto. Se deberá valorar la posibilidad de reutilizar o renovar un edificio existente.

Se estudian las visuales del sitio y se identifica el potencial de insertar un nuevo espacio abierto o potenciar uno existente. Se deberá estudiar la conexión del nuevo proyecto con los espacios públicos. De igual manera se analiza el comportamiento del sitio seleccionado con respecto a la trayectoria solar.

El diseño volumétrico y de envolvente son los principales objetivos de la cuarta etapa del proceso. Para tomar una decisión de diseño se deben estudiar las variantes volumétricas que atiendan los objetivos de sustentabilidad planteados en la primera

etapa. La orientación y forma del volumen deberá responder al comportamiento de la trayectoria solar y a la necesidad térmica del proyecto. La volumetría permitirá la integración con los espacios abiertos existentes y favorecerá las visuales. Es en esta etapa que se estudian los beneficios bioclimáticos de la volumetría y la envolvente. Se deberán seleccionar los materiales y las tecnologías adecuadas para optimizar los recursos.

La etapa seis le corresponde a las decisiones sobre los materiales. La primera valoración será la de reutilizar materiales que ya han tenido un uso en otras edificaciones, y así prolongar la vida útil de los mismos. Se estudiarán y seleccionarán los materiales

que cuenten con un análisis del ciclo de vida y aquellos con una menor huella de carbono. Se estudiará la posibilidad de utilizar uno o varios sistemas estructurales prefabricados y de producción local, buscando reducir los residuos de la construcción y las emisiones de CO₂ producto de la transportación.

En esta etapa, se deberá considerar un diseño modular de espacios interiores, utilizando preferentemente paneles que se puedan desmontar y recorrer generando espacios flexibles.

Se investigará sobre el contenido reciclado de los materiales y las fichas químicas de los mismos. Se le dará preferencia a los proveedores con información clara y transparente sobre sus productos, y más a aquellos con

una oferta de tratamiento post-consumo y criterios de extracción sustentable.

Las etapas abarcan el proceso de diseño de lo general a lo particular. Las consideraciones de una etapa superior podrán condicionar las decisiones en una etapa inferior. Por ejemplo, la investigación climática y ambiental del sitio, permite tomar decisiones sobre las características de la envolvente, así como la elección de la ubicación condicionará los proveedores de materiales y la elección de fuentes de materias primas locales para su uso en la construcción.

Así mismo, los objetivos de sustentabilidad y las estrategias de diseño bioclimático establecidas condicionará la elección de tecnologías de la Etapa 6.

Fig III.6_Esquema que representa la interacción de las etapas de diseño de lo general a lo particular.

Fuente: Elaboración propia.

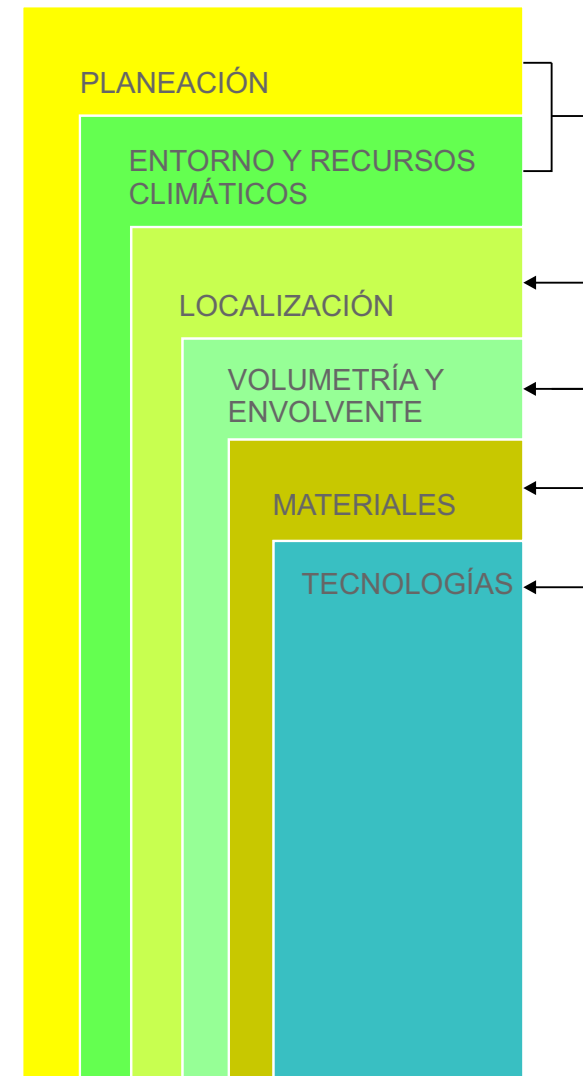
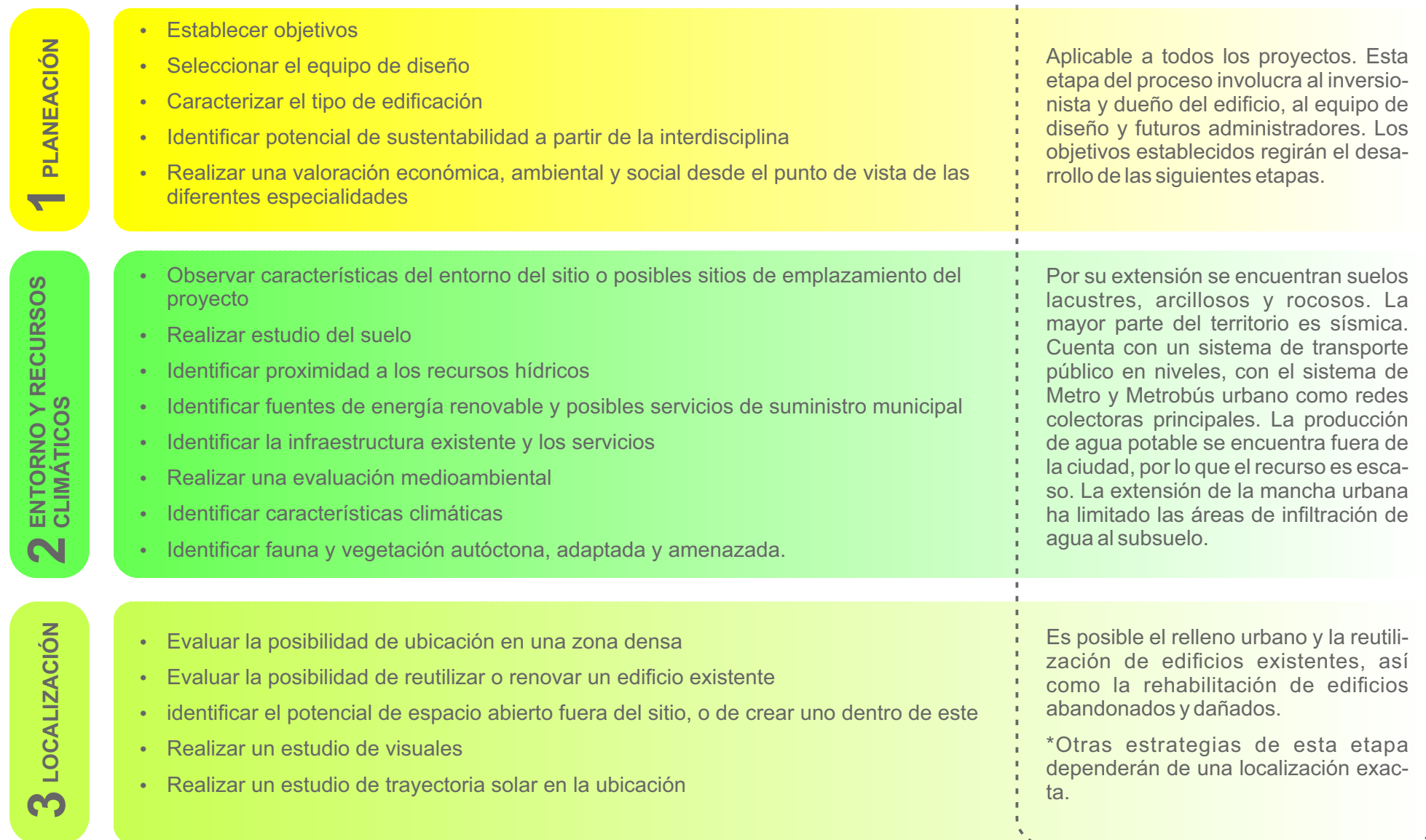


Fig III.7_Etapas técnicas y estrategias por etapas. *Continúa en página 120.

Fuente: Elaboración propia.



4 VOLUMETRÍA Y ENVOLVENTE

- Analizar la orientación con respecto a la trayectoria solar
- Diseñar la volumetría acorde con los requerimientos climáticos del sitio
- Integrar la propuesta volumétrica con los espacios abiertos o generar uno nuevo
- Considerar las visuales en el diseño volumétrico
- Considerar la iluminación natural en el diseño de la volumetría y la envolvente
- Considerar factores de ventilación
- Seleccionar materiales de envolvente
- Analizar el uso de elementos de protección solar

Las fachadas más comprometidas climáticamente en la Ciudad de México son la Oeste y la Sur. Un volumen sin aberturas en esta orientación será más eficiente. Predominan los vientos en dirección N-S. Las fachadas N y E son las más favorables para aprovechar la iluminación natural sin que se excedan las ganancias térmicas al interior.

5 MATERIALES

- Reutilizar materiales
- Seleccionar materiales con contenido reciclado y con una menor huella de carbono
- Valorar el uso de estructuras prefabricadas y de producción local
- Diseño modular de los espacios interiores
- Utilizar materiales con información sobre su contenido químico
- Utilizar materiales con criterios de extracción sustentable

El Estado de México es uno de los estados industriales más grandes del país, y es el más cercano a la Ciudad de México. Contratar proveedores en ese estado puede reducir considerablemente las distancias de traslado. México cuenta con muchos productos de fabricación nacional, con materias primas locales de origen natural. Muchas empresas declaran el contenido reciclado de sus productos y muestran sus políticas de extracción.

6 TECNOLOGÍAS

- Diseñar para reducir la demanda
- Utilizar la automatización para reducir consumos durante la vida útil del edificio
- Utilizar sistemas eficientes
- Instalar aparatos sanitarios de bajo consumo
- Monitorear desempeño para prevenir sobreconsumo

Un diseño eficiente permitirá reducir el uso de tecnologías. En edificios de alta complejidad tecnológica el sistema BMS coadyuva a controlar los consumos durante la operación. El control automático previene el descuido humano y asegura el encendido y apagado de los equipos a tiempo.

III.3_Metodologías existentes

Los resultados de la revisión documental y teórica del estudio contextual de la Ciudad de México así como el análisis de edificios construidos en ciudades con condiciones climáticas y estructurales similares a esta, nos ha permitido reunir los elementos para comprender un proceso de diseño sustentable general e integral. Para estructurar las estrategias y elementos del proceso en una metodología replicable volcamos nuestra atención en construcciones metodológicas de referencia. Esto nos permitirá además, ampliar el panorama de estrategias y complementar positivamente nuestra investigación.

El trabajo de Victor Fuentes Freixanet (2002), reúne y analiza las propuestas metodológicas de diseño de varios referentes de la arquitectura bioclimática. De dicho autor retomaremos el repaso a los antecedentes metodológicos de diseño bioclimático.

Los hermanos Olgyay (1963), son los pioneros en acercarse a este tema, y su propuesta se basa en el trabajo conjunto con la naturaleza y no en contra de ella. El procedimiento que proponen busca potenciar las bondades del entorno natural para mejorar las condiciones y la calidad de vida. Este procedimiento lo dividen en cuatro pasos, de los

cuales el último es la expresión arquitectónica. “La expresión debe estar precedida por el estudio de las variables climáticas, biológicas y tecnológicas...” (Olgyay, 1963).

Fuentes Freixanet (2002), resume la metodología de los Olgyay y la presenta de la siguiente manera:

1. Análisis Climático:

El primer paso hacia el ajuste ambiental es el análisis de los elementos climáticos de una localidad dada. Deben analizarse datos anuales de temperatura, humedad, radiación y efectos del viento; si fuera necesario, los datos deberán ser adaptados al nivel habita-

ble, y deben considerarse los efectos de las condiciones microclimáticas.

2. Evaluación Biológica:

La evaluación biológica debe basarse en las sensaciones humanas. La graficación de los datos climáticos en la carta bioclimática a intervalos regulares mostrará un diagnóstico de la región, y se determinarán tablas de datos horarios.

3. Soluciones tecnológicas:

Después de determinar los requerimientos, se deben buscar las soluciones tecnológicas. Para ello, deberán realizarse los siguientes cálculos:

- Selección del sitio
- Orientación
- Determinación de sombras
- Forma de la casa

- Movimientos del aire
- Balance de temperatura interior

4. Expresión arquitectónica:

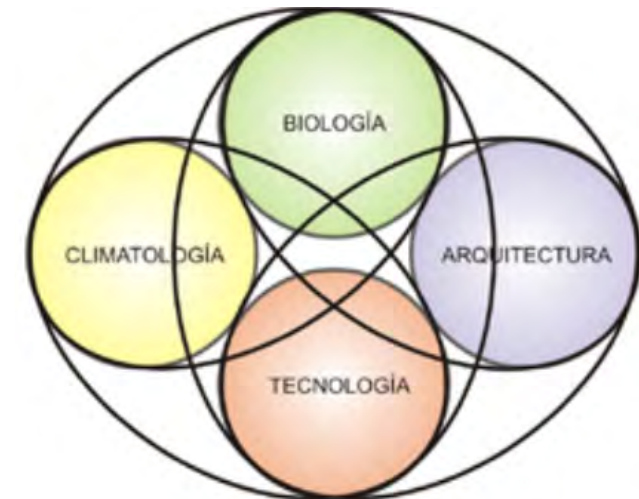
A través de los resultados obtenidos en los tres pasos anteriores, se deberá desarrollar los conceptos arquitectónicos y equilibrarlos de acuerdo a la importancia de los diferentes elementos.

Steven Szokolay (1984), se destacó por sus herramientas de análisis y evaluación bioclimática. Su propuesta metodológica se define en 4 etapas:

A. Estudios Preliminares:

Tiene como objetivo la recopilación concisa, identificación de restricciones, estudio de condiciones climatológicas y la definición de esquemas espaciales. Así como la definición de una propuesta energética.

Fig III.8_Campos interrelacionados del equilibrio climático (Víctor Olgyay, 1963)



B. Anteproyecto:

Tiene por objeto la generación de ideas, y la formulación y prueba de hipótesis de diseño. Como producto se deberá contar con una propuesta de diseño.

C. Proyecto: En esta etapa se detallan las decisiones de diseño, teniendo conciencia de las consecuencias energéticas de cada decisión. Se deben elaborar planos, detalles y especificaciones.

D. Evaluación final:

Se deberán hacer análisis térmicos, de ventilación, lumínicos y estimación del uso de la energía para todos los propósitos, todo ello a través de distintas herramientas. Esta etapa debe concluir con una propuesta espacial y energética definitivas. La imagen III.9 resume la propuesta de Szokolay.

Fig III.9_Metodología de Szokolay. (Tomado de: Fuentes Freixanet, V. Metodología de diseño.)

ETAPAS	OBJETIVOS	INFORMACIÓN	HERRAMIENTAS	PRODUCTO
A. Estudios preliminares	recopilación concisa, identificar restricciones, estudio de condiciones climatológicas, definición de esquemas espaciales.	datos climáticos, normas, antecedentes, tipologías	análisis bioclimático, cartas de confort, estrategias de diseño, programas climáticos	definición de estrategias, definición de programas, propuesta energética
B. Anteproyecto	generación de ideas, formulación y pruebas de hipótesis de diseño.	conocimientos de geometría solar y los efectos térmicos de la forma y comportamiento de los materiales, evaluación de criterios	pruebas alternativas, refinación por medio de un método simple	propuesta de diseño
C. Proyecto	detallar las decisiones de diseño, penetración solar, sombras materiales, envolvente, ventilación, iluminación, etc. *	conciencia de las consecuencias (energéticas) de las decisiones de diseño detalladas	herramientas específicas, daigramas, monogramas, programas específicos, optimización	planos, detalles, especificaciones
D. Evaluación final	análisis térmico, ventilación, acústico. estimación del uso de energía para todos los propósitos. **	datos precisos de materiales, datos climáticos horarios, datos de ocupación de los espacios.	programas de análisis de energía y puesta térmica, iluminación, ventilación, etc	propuesta espacial y energética definitivas

*muchas de estas decisiones pueden tener consecuencias múltiples, el mismo elemento puede tener influencia en varios factores (calor, luz, sonido, etc.) o el mismo factor puede ser alterado por varios elementos.

**comparar los resultados con las propuestas espaciales y energéticas planteadas inicialmente.

David Morillón (Morillón, 2000) argumenta que para que un edificio sea sustentable, debe ser bioclimático, hacer un uso eficiente de la energía, utilizar las energías alternativas y lograr la autosuficiencia. En su tesis explica que el método de diseño deberá impulsar las propuestas innovadoras potenciadas desde la conciencia y el conocimiento del diseñador. Las etapas básicas del diseño son:

- Recopilación y procesamiento de la información
- Diagnóstico
- Definición de estrategias de climatización
- Recomendaciones de diseño
- Anteproyecto
- Evaluación térmica

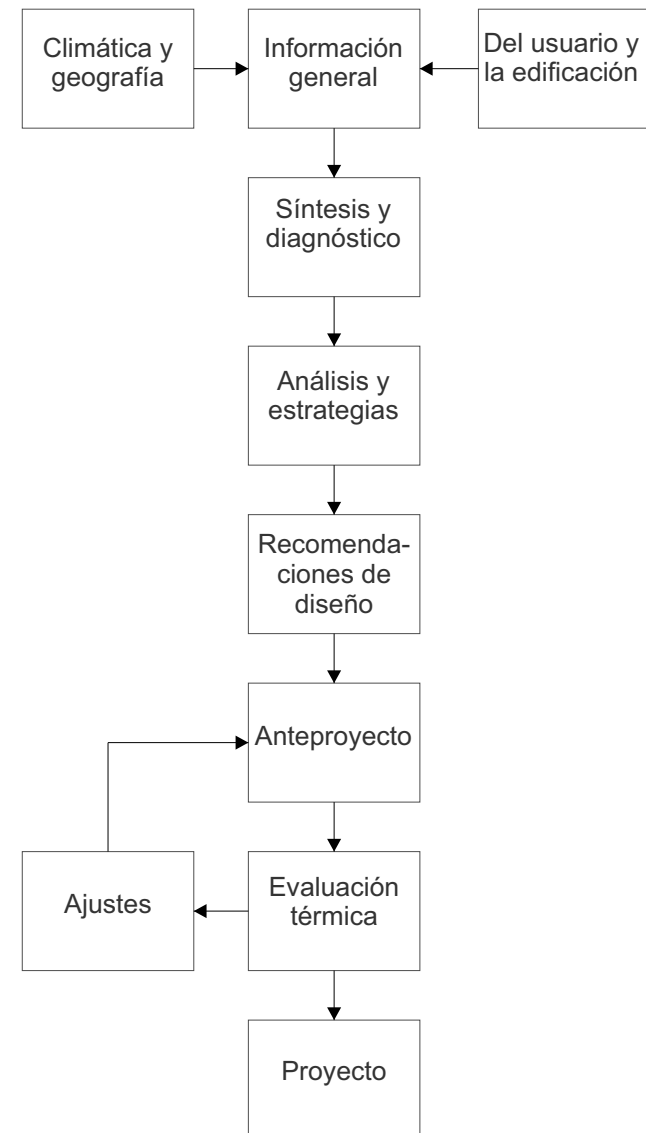
- Toma de decisiones
- Proyecto definitivo

La Fig III.10 ilustra esquemáticamente la propuesta metodológica de David Morillón.

Fuentes Freixanet (2002), propone una metodología en la que se analizan simultáneamente el sitio (en cuanto a los aspectos climáticos, el medio natural, el medio artificial); y el usuario (en cuanto a las necesidades, los usos y funciones así como el medio socio-cultural). El análisis combinado de estos factores permite establecer las estrategias de diseño de climatización, iluminación, de acústica y de control de contaminantes. Las estrategias derivan en una propuesta de anteproyecto que se evalúa en las categorías:

- Arquitectónico

Fig III.10_Metodología de David Morillón. Esquema general



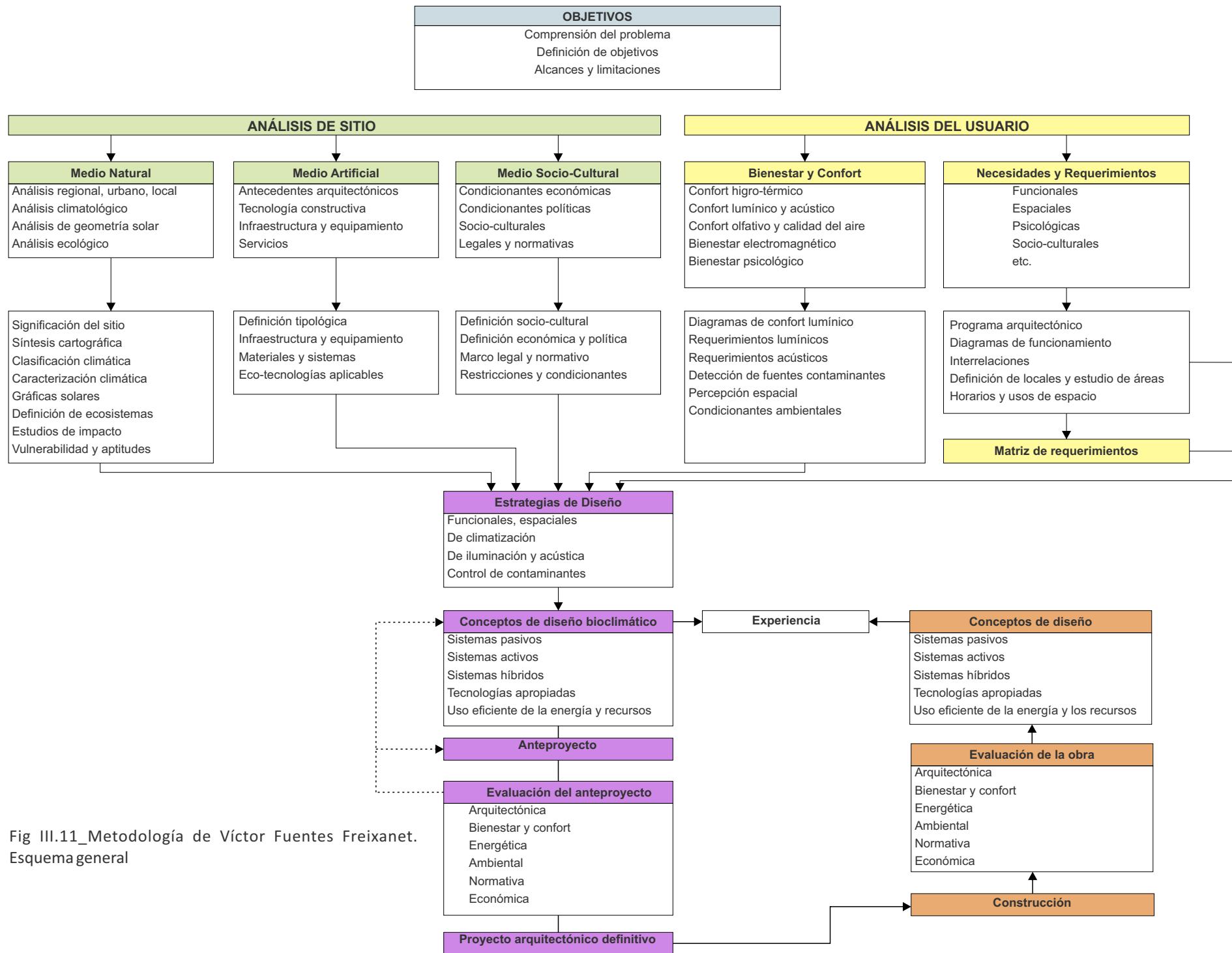


Fig III.11_Metodología de Víctor Fuentes Freixanet. Esquemageneral

- De confort
- Energético
- Ambiental
- Normativo
- Económico y financiero

La retroalimentación permitirá esbozar el proyecto definitivo.

La propuesta de Fuentes Freixanet abarca elementos del contexto social, personal, biológico, económico y socio-político, que son determinantes para proponer una correcta solución de diseño arquitectónico bioclimático. De los autores antes mencionados, retoma el análisis climático, las herramientas y la retroalimentación sobre una evaluación del anteproyecto, y adiciona las ventajas de la experiencia práctica, al revisar las respuestas del usuario en los edificios construidos

(retroalimentación pos-construcción).

Luis de Garrido (2016) cuenta en su repertorio con una propuesta de metodología cuya intención es guiar, a la vez de evaluar el potencial sustentable de un diseño arquitectónico.

“Los indicadores sostenibles para una nueva arquitectura” reúne una estructura de conceptos mensurables en un diseño arquitectónico. De acuerdo al autor, para que un proyecto resulte verdaderamente sustentable no se debe ignorar ningún indicador. Cada uno debe ser cubierto en mayor o menor medida. Luis de Garrido (2016) aclara que no todos los indicadores tienen el mismo valor relativo por lo que propone el uso de coeficientes correctores; y que las estrate-

gias deberán ser valoradas económicamente unas con respecto a otras antes de ser implementadas.

Los indicadores están clasificados en 5 grupos:

1. Optimización de recursos y materiales:

Se enfoca en el uso de materiales naturales, aquellos con la menor manipulación posible. Persigue que se seleccionen materiales duraderos, que sean reutilizados o tengan potencial de reutilización. Esta categoría mide el porcentaje de contenido reciclado de los materiales, y el grado de aprovechamiento de los recursos energéticos en la fabricación de los materiales.

2. Disminución del consumo energético:

Evalúa la energía utilizada en la obtención de materiales de construcción, así como la

energía consumida en el transporte de materiales y de la mano de obra. Mide la energía utilizada en la construcción del edificio y en la operación durante la vida útil así como la energía involucrada en la demolición y el desmontaje.

3. Disminución de residuos y emisiones:

Esta categoría busca medir los residuos y las emisiones que resultan del proceso de fabricación de materiales, la construcción del edificio y sobre todo, de su demolición. Mide además los residuos generados durante la operación del edificio.

4. Disminución del mantenimiento, explotación y uso de los edificios.

De acuerdo al autor (de Garrido, 2016) los indicadores de esta categoría son los menos conocidos en la arquitectura sostenible. Los

indicadores de este apartado se diseñaron para medir el impacto ambiental que genera el mantenimiento de un edificio y coadyuvar a la máxima reducción del mismo.

En este punto se evalúa la adecuación de la durabilidad del material a la vida útil proyectada del edificio y busca reducir los recambios de materiales. Se evalúa la energía consumida durante el mantenimiento del edificio y la energía necesaria para acceder al edificio.

5. Aumento de la calidad de vida de los ocupantes de los edificios:

Para evaluar como beneficia el edificio a la calidad de vida de los usuarios se debe medir la cantidad de sustancias nocivas que se emiten en cada etapa del ciclo de vida de un edificio. Para prevenir daños a la salud humana

se deberán seleccionar materiales químicamente limpios, que no comprometan la seguridad de los usuarios en ninguna de las etapas de fabricación, o durante su utilización definitiva. Durante la utilización del edificio se pueden realizar encuestas para analizar el grado de satisfacción de los ocupantes en cuanto a factores psicológicos, así como la percepción del diseño formal, espacial y cromático.

III.4_Propuesta de metodología de diseño sustentable

A partir del análisis comparativo de los casos de estudio, se extrajo el proceso de diseño y los objetivos de sustentabilidad de cada proyecto. En ese sentido, fue posible clasificar las partes del proceso en etapas y caracterizarlas. Con la revisión del trabajo de maestros del diseño bioclimático y sustentable, y la información obtenida del estudio documental en nuestro marco teórico, se obtuvieron elementos suficientes que nos permitieron elaborar una propuesta de metodología actualizada. La propuesta metodológica que presentaremos a continuación, constituye el alcance principal de la investigación

y comprende las etapas de conceptualización y diseño de un proyecto arquitectónico.

La metodología se concibió como un proceso con desarrollo temporal dividido en siete etapas de trabajo. Los componentes de cada etapa interactúan entre sí, y las actividades se retroalimentan a partir de los resultados alcanzados. Un diagrama de Gant (Fig. IV.1) muestra el proceso de conceptualización y diseño y las actividades fundamentales de cada etapa.

Tanto en la fase de conceptualización como de diseño deberá intervenir el propietario e inversionista del proyecto, el arquitecto y

equipo de ingenieros diseñadores así como el futuro operador u ocupante del edificio. Cada uno aportará las ventajas e inconvenientes de las decisiones de diseño, y el trabajo iterativo dará a lugar a óptimas estrategias.

La primera etapa es la de Planeación. En esta participan de primera mano los actores mencionados para caracterizar el nuevo proyecto y seleccionar el equipo idóneo de trabajo que cuente con experiencia y una visión holística de la construcción sustentable. En esta etapa se deberán cruzar los alcances de cada ingeniería e identificar las potencialida-

des sustentables en las estrategias de diseño.

El resultado del trabajo será la definición de los objetivos de sustentabilidad del proyecto, mismos que serán una constante durante todo el proceso, incluso durante la construcción y posterior operación del edificio.

La siguiente etapa será de selección de la localización del nuevo proyecto. Propietario, diseñadores, contratistas, operador, etc. deberán realizar una evaluación de la infraestructura existente en cada posible localización y del entorno construido. Será preciso revisar las normativas y desde un punto de vista urbano la distribución de equipamiento y servicios. Esta etapa se pudiera solapar con la etapa de Entorno, a fin de realizar un

análisis más profundo y seleccionar la localización más adecuada.

El análisis del entorno inmediato al sitio del proyecto implica realizar estudios de suelo y estudios de impacto ambiental. En esta etapa será importante la colaboración de otros especialistas como biólogos y geólogos quienes ayudarán a identificar niveles de contaminación, especies de flora y fauna que tienen su hábitat en el sitio, y los recursos naturales disponibles. El análisis del entorno permitirá asentar las bases para el diseño volumétrico preliminar.

La cuarta etapa es la caracterización climática, en la cual se lleva a cabo un análisis del sitio y del usuario. El análisis del sitio implica reunir datos de la clasificación climática a la que pertenece, la trayectoria solar, el

comportamiento de los vientos, y el potencial de las visuales. Se evalúan los componentes naturales del entorno y cómo podrían interactuar con la nueva edificación (interacción con un espacio abierto existente, proyección de sombras, canalización de vientos).

El análisis del usuario se centra en identificar las necesidades funcionales y espaciales, las necesidades psicológicas de los futuros ocupantes así como los requerimientos personales para alcanzar el confort higrotérmico, lumínico y acústico, los horarios y usos potenciales que le den a los espacios del nuevo edificio.

Las cuatro primeras etapas de la metodología implican un proceso de planeación e investigación exhaustivos. Sobre la información reunida los diseñadores toman decisio-

nes que permitan un balance en la interacción del medio artificial construido con el medio natural.

La quinta etapa del proceso comprende la propuesta volumétrica preliminar. En esta etapa se estudian las variantes volumétricas a la par que se definen las estrategias de diseño bioclimático aplicables al proyecto. Se estudia cómo interactúa el entorno con la volumetría y las variantes de materiales y soluciones técnicas de envolvente mediante un modelo digital realista del proyecto. Los resultados de los análisis permitirán rectificar las deficiencias de la volumetría y avanzar a la siguiente etapa con la variante que mejor atienda los objetivos de sustentabilidad.

En la etapa correspondiente a los materiales se debe evaluar el impacto de la selección

de estos y como se utilizan en el proyecto. El análisis del ciclo de vida de cada material será fundamental para hacer una correcta elección. La selección de un proveedor puede estar impactada por las políticas de transparencia que tengan, así como por el manejo de los materiales después de su vida útil. En este punto vale la pena recalcar que cada etapa se complementa con la anterior. Por ejemplo, la elección del material está condicionada por los análisis climáticos del sitio. los resultados de la simulación virtual y la elección de la localización. Un material que se extraiga, procese y entregue en los alrededores del sitio tendrá menor cantidad de energía consumida.

La etapa siete corresponde a las Tecnologías. El principio de diseño será el de

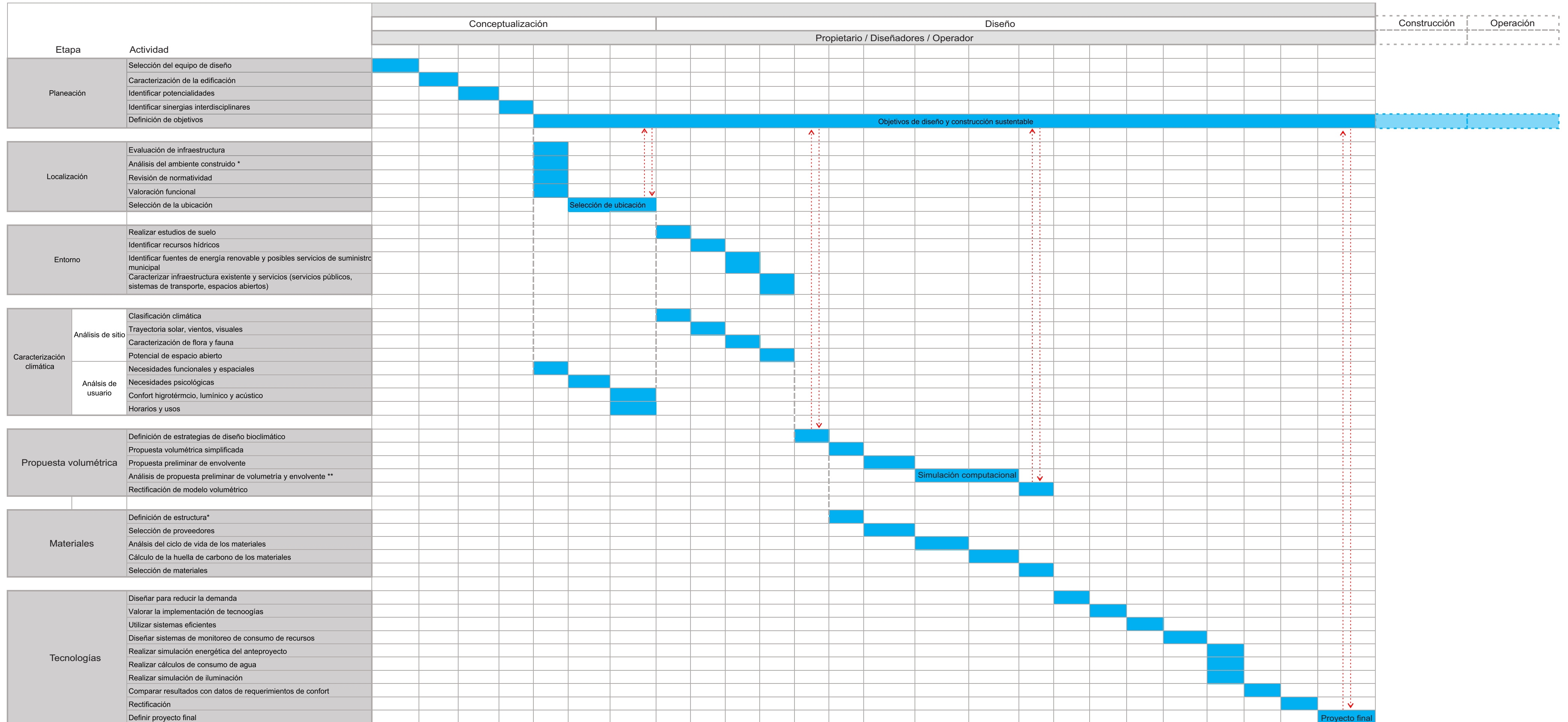
reducir la demanda de recursos y minimizar el impacto en el medio. Sin embargo, el uso de tecnologías más allá de un sistema estructural o un material de altas prestaciones está relacionado con optimizar el consumo durante la operación del edificio. Se deberá analizar la implementación de tecnologías de acuerdo a las necesidades del proyecto. La caracterización inicial del proyecto condicionará los requerimientos tecnológicos, por tanto será fundamental seleccionar sistemas eficientes, cuya operación reduzca el error humano de operación.

En esta etapa se deberán realizar los cálculos de reducción de consumo que aporta la instalación de sistemas eficientes y con los datos obtenidos se lleva a cabo una ingeniería de valor, así como estudios de impacto.

En tanto más óptima sea la solución volumétrica, material y espacial para el confort, menor será la necesidad de utilizar sistemas complementarios que garanticen los requerimientos establecidos en el análisis del usuario. Una vez definida la propuesta de anteproyecto se deberá realizar una nueva simulación digital, más completa, y a partir de esta hacer una rectificación.

En esta propuesta metodológica sugerimos dos simulaciones realistas del proyecto durante su fase de diseño, sin embargo, la simulación es una herramienta aplicable en cualquier etapa, útil en la prevención de errores que se consideran irreversibles en fases más avanzadas.

Fig III.12_Propuesta metodológica de diseño. Diagrama de Gant.



CONCLUSIONES

El diseño arquitectónico ha evolucionado a partir del entendimiento de como interactúa el hombre con la naturaleza. La edificación es su hábitat, debido a que pasamos bajo techo más del 90% del tiempo. El diseño sustentable no solo es responsabilidad del arquitecto, depende de la colaboración de los inversionistas, futuros propietarios, ingenieros y diseñadores, de los fabricantes de materiales, incluso de los involucrados en la extracción de la materia prima, los trabajadores de obra, consultores y operadores, entre otros muchos actores que puedan estar involucrados en todo el ciclo de vida de una edifica-

ción. Cuanto más amplia sea la visión del panorama de impacto, más capaces seremos de reducir efectivamente los daños al medio y prolongar los recursos en beneficio de todos.

La presente investigación nos permitió visibilizar la participación activa que ha tenido México en la arena internacional con respecto a la sustentabilidad. Desde que se esbozó el problema del cambio climático, las políticas y regulaciones internas del país se han movido en pro de modificar las prácticas industriales para lograr reducir su impacto ambiental. En la industria que nos involucra

como arquitectos, las acciones han ocurrido un poco más retrasadas en el tiempo debido al reconocimiento tardío de su impacto en el medio ambiente y la resistencia del mercado tradicional al cambio en el “negocio” de la construcción.

Los esfuerzos para modificar la manera en que diseñamos y construimos han ocurrido desde la política, la ciencia, la academia y más recientemente desde el mercado. Las acciones más concretas se ven reflejadas en las certificaciones de sustentabilidad, cuyo comienzo fue en un segmento casi elitista, sin embargo, ha sucedido una transforma-

ción en la que se observa que se ha normalizado el uso de materiales y tecnologías en los edificios que representan una inversión inicial mayor, pero reportan beneficios significativos en el corto y mediano plazo de la vida útil total de los mismos.

El interés por mitigar el impacto de la construcción en el medio ambiente es genuino, sin embargo, al volcarnos en la revisión de la praxis y la literatura, concluimos que existen oportunidades de mejora con enfoque principalmente en la relación con el medio urbano y las actividades de planeación que abarcan desde la ideación conceptual, la evaluación del entorno inmediato y el emplazamiento, así como la persistencia de las estrategias de diseño sustentable durante las etapas de construcción y la operación futura de un edifi-

cio.

Al diseñar un proyecto, la práctica tradicional del diseño resuelve una función (seleccionada por el propietario) en un emplazamiento determinado. Generalmente la función o funciones que ocuparán un edificio están divorciadas de las necesidades operativas del entorno y generalmente ignoran también las necesidades ambientales y sociales del sitio.

Esta particularidad de la práctica se asocia al sistema socio-económico que regula las relaciones sociales y mercantiles de México.

El primer acercamiento a un proyecto debería ser una observación de las relaciones funcionales del sitio: la carga y distribución de servicios, las redes de comunicación, el porcentaje de superficie con vegetación, la disponibilidad de espacios públicos, la cons-

trucción física del entorno y las regulaciones arquitectónicas (si existen). Se deben observar los comportamientos humanos, pasos, senderos, utilización de los espacios públicos y actividades tradicionales. Todos estos datos permitirían identificar las oportunidades de restauración del entorno y por tanto permitirían definir la función idónea para el proyecto, o una función complementaria al interés inicial del propietario, cuya presencia en el edificio beneficiaría significativamente al entorno. Cabe destacar que los resultados de un análisis de este tipo podrían concluir que el proyecto no es idóneo para la zona, ya que puede resultar más negativo que positivo para el sitio.

Una vez que se realiza el análisis macro funcional y urbano y se define el sitio ideal

para el proyecto se debe analizar el contexto climático.

Un nuevo proyecto de arquitectura deberá elaborarse considerando el clima local, la temperatura, flujo de brisas, condiciones de asoleamiento, radiación solar, cantidad de precipitación, presencia de vegetación y especies autóctonas o adaptadas de la región. Conocer esta información posibilita el estudio de estrategias bioclimáticas integrables en el diseño arquitectónico y de esta manera limitar el acondicionamiento mecánico del interior a lo estrictamente necesario.- Nuestra investigación incluyó una caracterización climática y físico-geográfica de la Ciudad de México, el cual fue territorio de validación de las estrategias de diseño sustentable aplicadas en proyectos arquitectóni-

cos fuera de México. Dicha caracterización se convierte en una herramienta útil a la hora de analizar un emplazamiento para un nuevo proyecto, a la vez que permite identificar las debilidades del entorno y el potencial de restauración del mismo que puede ofrecer el diseño urbano y arquitectónico. La caracterización ambiental de la Ciudad de México como herramienta de trabajo la consideramos, entre otros, unos de los resultados de esta investigación.

Las estrategias bioclimáticas son el primer filtro de diseño y estas coadyuvan al funcionamiento energético de un edificio. El siguiente paso es estudiar las estrategias activas tales como la iluminación artificial, la ventilación mecánica, y la energización general de un proyecto. Sobre estas el enfoque

debería ser “la eficiencia primero” buscando reducir los consumos desde la optimización del diseño del espacio, y seleccionando equipos adecuados y eficientes. Los sistemas activos se adecuan al espacio construido, por lo que están condicionados a la elección de los materiales y la solución arquitectónica.

Con el estudio de diferentes edificios y el estado del arte de metodologías de trabajo concluimos que los resultados verdaderamente sustentables se obtienen en el mediano y largo plazo; después que comienza la fase de explotación definitiva de una edificación. En ese sentido es fundamental fijar claramente los objetivos de sustentabilidad de un proyecto y garantizar que se cumplan durante todas las fases que abarca el ciclo de vida de un edificio. Por ejemplo: la premisa de

“eficiencia primero” se debe mantener mientras se opera el edificio, con el debido mantenimiento a los sistemas y la educación de los ocupantes en cuanto a como cuidar y preservar los recursos.

Nuestra propuesta metodológica es un esfuerzo por complementar el proceso de diseño tal como se ha manejado hasta la actualidad. Reconocemos que la práctica en la industria de la construcción no es óptima en lo que se refiere a la sustentabilidad. En la medida que podamos ampliar el rango de acción y visión de la arquitectura, seremos capaces de mitigar los estragos de nuestra industria en la sociedad, la cultura, la salud humana, el entorno natural, los recursos naturales, la fauna y la flora, la economía y la política.

Al concluir este trabajo nos fue posible contar con un marco resumen del estado del arte del diseño y la construcción sustentable. Se recopilaron estrategias técnicas que abarcan la bioclimática, la energía renovable, los materiales tecnológicos, sin descuidar la salud de los ocupantes de los edificios. Contamos con que la información reunida permita sentar bases para nuevos proyectos, y sea partida para consultas de índole teórica.

La presente tesis concluye con una propuesta de metodología de diseño, cuyo fin es conformar una herramienta que guíe las fases de conceptualización y diseño con un enfoque ampliado.

Comprendemos que el ciclo de vida de una edificación abarca más fases que pudie-

ran explorarse desde incluso la economía circular, por lo que esperamos que nuestro trabajo provea las semillas que engendren futuras investigaciones sobre este tema.

REFERENCIAS

- Avid, E. (2015). Línea del tiempo de la Arquitectura Ecológica en México. <https://prezi.com/kl1ph4dyey49/historia-de-la-arquitectura-ecologica-en-mexico/>.
- CEESCO. (2019). Situación Actual y Perspectivas de la Industria de la Construcción en México.
- Chan López, D. (2010). Principios de la arquitectura sustentable y la vivienda de interés social. Caso: la vivienda de interés social en la ciudad de Mexicali, Baja California, México.: Universidad de Baja California.
- de Garrido, L. (2010). Definición de Arquitectura sostenible. In G. Pelaio (Ed.).
- de Garrido, L. (2016). Los indicadores sostenibles para una nueva arquitectura. https://static.construible.es/media/2016/12/indicadores_sostenibles_de_luis_de_garrido.pdf
- Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. (1992). Paper presented at the Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Díaz Suárez, V. (2018). Informe Calidad del Aire 2018 Quito. Quito.
- Dueñas del Río, A. (2013). Reflexiones sobre la Arquitectura Sustentable en México. Legado de Arquitectura y Diseño, núm. 14, pp. 77-91.
- Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (2004).
- Fuentes Freixanet, V. (2002). Metodología de diseño bioclimático. El análisis climático.
- Fuentes Freixanet, V. Metodología de diseño. https://www.academia.edu/23211380/2_METODOLOG%C3%8DA_DE_DISE%C3%91O
- García Pérez, F. (2016). El empleo de la energía solar térmica en México.
- Hernández, A. (2013). Manual de diseño bioclimático urbano. Recomendaciones para la elaboración de normativas urbanísticas. http://oa.upm.es/15813/1/2013-BIOURB-Manual_de_diseno_bioclimatico_b.pdf.
- Horsley, D. (1998). Process Plant Commissioning, a User Guide, Institution of Chemical Engineering.
- Inarquía. (2019). Ejemplos de energía eólica en edificios.
- Informe Anual 2019 Red de Monitoreo de la Calidad del Aire. (2019). Bolivia.
- Kim, J. J. R., B. (2008). Pollution prevention in architecture. National pollution prevention center for Higher education. University of Michigan, Ed. Michigan: University of Michigan.
- McDonough, W. B., Michael (2002). Cradle to Cradle.
- Mercader Moyano, M. P. (2010). Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el Protocolo de Kioto. (Doctorado), Universidad de Sevilla. http://fondosdigitales.us.es/tesis/resultados_busqueda/?authors_in=1215 database.

REFERENCIAS

- MONARQ. (2016). Energía solar, una alternativa renovable para la arquitectura sustentable.
- Mora Bello, C. M. D. (2014). La Polivalencia en la Certificación de la Arquitectura Sustentable. Caso de estudio sistema de certificación LEED en México., UNAM.
- Moriana, L. (2018a). Energía geotérmica: definición, ventajas y desventajas. Ecología Verde.
- Moriana, L. (2018b). Qué son los biocombustibles, ventajas y desventajas. Ecología Verde. MX, E. D. (2013). Sustentabilidad.
- Morillón, Gálvez, D. (2000). Metodología para el diseño bioclimático.
- Obras. (2019). La arquitectura bioclimática toma fuerza ante el cambio climático.
- Olgyay, Víctor y Aladar. (1963). Design with climate. Princeton University Press. U.S.A.
- Pérez Liñan, A. (2007). El Método Comparativo: Fundamentos y Desarrollos Recientes: Universidad de Pittsburgh.
- Retama Hernández, A. (2015). Calidad del aire en la Ciudad de México.
- Revitaliza. (2018). ¿Qué es el Commissioning / Comisionamiento?
- Rodríguez Parra, S. (2019). ¿Cómo lograr una mejor calidad del aire?
- Ruzafa Otón, L. (2009). La energía solar en la edificación: La energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Sachs, W. (1999). Planet Dialectics - Explorations in Environment & Development. Londres: Zed Books.
- Sánchez-Cascado, F. (2016). Energía geotérmica y climatización.
- Sánchez-Montañez Macías, B. (2014). Arquitectura bioclimática: conceptos y técnicas. EcoHabitar.
- Sánchez Torres, D. M. A. P., Marco. (2014). Corrientes del ambientalismo y alternativas de gestión desde la sustentabilidad y la ética ambiental.
- School, O. B. (2015). Fases proyectos construcción: las 6 etapas que te conducen al éxito. [OB].
- Segob. (2003). Tratados celebrados por México.
- Szokolay, Steven, V. (1984). Energetics in design - Passive and low design for thermal and visual confort. The University of Queensland, Australia.
- Torres Castañera, C. (2017). Construcciones sostenibles y certificaciones LEED en Colombia.
- Vale, B. V., Robert. (1991). Green Architecture. Design for a sustainable future.
- Worldwatch, W. I. (1995). How Ecology and Health Concerns are transforming Construction. Washington D.C.: Worldwatch Institute.

