



Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas

Enfoque urbano-arquitectónico

Silverio Hernández Moreno
José Antonio Hernández Moreno
Bianca Gilliana Alcaraz Vargas



Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas

Enfoque urbano-arquitectónico

Universidad Autónoma del Estado de México

Dr. en Ed. Alfredo Barrera Baca

Rector

Dr. en C. I. Amb. Carlos Eduardo Barrera Díaz

Secretario de Investigación y Estudios Avanzados

Dra. en C. S. Martha Patricia Zarza Delgado

Directora de la Facultad de Arquitectura y Diseño

Mtra. en Admón. Susana García Hernández

*Directora de Difusión y Promoción de la Investigación
y los Estudios Avanzados*

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas

Enfoque urbano-arquitectónico

Silverio Hernández Moreno
José Antonio Hernández Moreno
Bianca Gilliana Alcaraz Vargas



Toluca, 2021

*Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico*

Silverio Hernández Moreno
José Antonio Hernández Moreno
Bianca Gilliana Alcaraz Vargas

Primera edición: febrero de 2021
ISBN: 978-607-633-251-1 (PDF)

D. R. © Silverio Hernández Moreno, José Antonio Hernández Moreno y Bianca Gilliana Alcaraz Vargas
D. R. © Universidad Autónoma del Estado de México
Instituto Literario núm. 100 Ote.
C.P. 50000, Toluca, Estado de México
www.uaemex.mx

Portada: Juan Manuel García Guerrero

El presente libro cuenta con la revisión y aprobación de dos pares doble ciego externos a la Universidad Autónoma del Estado de México. El arbitraje estuvo a cargo de la Secretaría de Investigación y Estudios Avanzados, según consta en el expediente 221/2019.

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Autónoma del Estado de México.

El contenido de esta publicación es responsabilidad de los autores.

*A nuestros padres
por su apoyo total desde siempre.*

*A nuestras familias
por el apoyo brindado especialmente a nuestros hijos.*

A †Rubens que está en el cielo.

Gracias a Dios por prestarnos la vida.

Índice

Introducción	10
I. Las ciudades y el cambio climático	19
Problemática del crecimiento demográfico y la urbanización	19
El fenómeno del cambio climático	24
Fuentes de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI)	27
<i>Emisiones antropogénicas de GEI</i>	27
<i>Emisiones globales de GEI</i>	28
<i>Emisiones de GEI para México</i>	30
El desafío del cambio climático en zonas urbanas	34
<i>Las fuentes de emisiones de GEI en las ciudades</i>	35
<i>Vulnerabilidad e impactos del cambio climático en las zonas urbanas</i>	37
<i>Adaptación y mitigación al cambio climático en las ciudades</i>	39
II. Acciones de reducción y mitigación de la huella de carbono en las ciudades de México y Latinoamérica	43
Manejo sustentable del agua en las ciudades	43
Manejo sustentable de parques y jardines en las ciudades	45
Manejo sustentable de la energía en las ciudades	48
Manejo sustentable del transporte y movilidad en las ciudades	50
Manejo sustentable de los residuos sólidos en las ciudades	51

III. Adaptación ante el cambio climático derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico	55
Reducción de impactos ambientales y reducción de la huella de carbono	55
Marco normativo	60
Estrategias y acciones hacia la adaptación al cambio climático en las ciudades de México. Enfoque urbano-arquitectónico	64
Decálogo con un enfoque urbano-arquitectónico	66
IV. Modelos para la planeación sustentable de ciudades ante el cambio climático	71
Modelos ambientales	72
Modelos y normatividad en edificación y urbanismo sustentables	73
<i>Modelo LEED®</i>	73
<i>Modelo BREEAM®</i>	76
<i>Checklist</i> para la edificación y urbanización ambiental en México (propuesta)	80
Conclusión	95
Glosario básico de cambio climático y planeación urbana sustentable	101
Referencias	111

Introducción

Para adentrarnos en las páginas de este libro, hagamos un poco de contexto: el cambio climático es uno de los principales retos que enfrenta la humanidad en la actualidad, pues trae implicaciones que rebasan al ambiente, ya que sus efectos actuales y pronosticados incluyen consecuencias sociales, económicas y políticas, que determinarán, en buena parte, las características y condiciones del desarrollo humano en el presente siglo.

La preocupación por el cambio climático siempre es motivo de discusión, sobre todo en el punto de desarrollo de herramientas tecnológicas y financieras para disminuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (en adelante GEI) generadas por las actividades antropogénicas; aunque el cambio climático es un proceso natural, la contribución de las actividades antropogénicas representan, sin duda, un detonante y acelerador de éstas (Ferraro y Zulaica, 2013).

México firmó, en septiembre de 2015, la *Agenda 2030* para el desarrollo sustentable, organizada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), dicho documento incluye los 17 objetivos que son fin de la pobreza, hambre cero, salud y bienestar, educación de calidad, igualdad de género, agua limpia y saneamiento, energía asequible y no contaminante, trabajo decente y crecimiento económico, industria, innovación e infraestructura, reducción de las desigualdades, *ciudades y comunidades sustentables*, producción y consumo responsables, acción por el clima, vida submarina, vida de ecosistemas terrestres, paz, justicia e instituciones sólidas. Estos objetivos tienen como finalidad luchar contra la desigualdad y la injusticia y hacer frente al cambio climático (ONU, 2015a).

Obsérvese que todos estos objetivos van de la mano, pues se deben alcanzar de manera integral para que tengan un impacto positivo en la calidad de vida, no sólo de la humanidad, sino del planeta.

En materia de desarrollo urbano, se destaca el objetivo referente a ciudades y comunidades sustentables. Es en este punto en donde urbanistas y arquitectos deben trabajar en equipo y de manera multidis-

ciplinaría con otros profesionales como biólogos, ingenieros, físicos, químicos, sociólogos, ecólogos, psicólogos con la finalidad de alcanzar de manera conjunta e integral los objetivos de la *Agenda 2030*.

De manera paralela se está adoptando en México la *Nueva Agenda Urbana Hábitat III* de la ONU firmada en Quito, Ecuador en octubre de 2016 con la finalidad de hacer frente a los rezagos en materia de planeación urbana y regional, principalmente en países con problemas de asentamientos informales, contaminación y de incipiente planificación urbana (ONU, 2017). Al respecto se menciona:

La *Nueva Agenda Urbana* representa un ideal común para lograr un futuro mejor y más sostenible, en el que todas las personas gocen de igualdad de derechos y de acceso a los beneficios y oportunidades que las ciudades pueden ofrecer, y en el que la comunidad internacional reconsidere los sistemas urbanos y la forma física de nuestros espacios urbanos como un medio para lograrlo (ONU, 2017 [en línea]).

Desde la implementación del *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, en 1998, se ha diseñado un conjunto de mecanismos con la finalidad de moderar las emisiones de GEI, entre los que se destacan tres: el primero de ellos aplica a los países firmantes, y se basa en el intercambio de cuotas de emisiones; los otros dos proyectos, utilizados con diferente éxito, son la Implementación Conjunta (IC) y los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), en los cuales está basada la *reducción de la huella de carbono*. Sin entrar en detalles de los mecanismos enunciados, que no son objeto de este libro, se puede mencionar que los tres exigen metodologías muy precisas de inventario y disminución de GEI, además de la inclusión de estrategias para reducir la huella de carbono de cualquier proceso antrópico. Por ello, el cambio climático implica un gran riesgo y un gran reto para las sociedades de la actualidad, ya que la industria de la construcción de ciudades es una de las que más contamina al ambiente (Zhen *et al.*; Yusof Yusof, Awang y Iranmanesh, 2017; Ozorhon, 2013). Se menciona lo siguiente al respecto:

El cambio climático plantea un fuerte desafío para la gestión de las ciudades en los próximos decenios. Estas son el escenario en el que se manifestarán sus principales efectos, que, combinados con el proceso de urbanización creciente, originarán nuevas problemáticas sociales y ambientales, o bien, profundizarán las existentes (Ferraro y Zulaica, 2013). Como es de esperar, en sus territorios se localizan las principales fuentes emisoras de GEI a la atmósfera, por esta razón conviene destacar que más de la mitad de la población total del planeta, aproximadamente 3.3 mil millones de personas, vive en áreas urbanas, que sirven como centros de cultura, entretenimiento, innovación, educación y conocimiento (Ferraro y Zulaica, 2013).

**Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico**

Se espera que para 2030 se tenga del 60-65% de la población total mundial viviendo en grandes zonas conurbadas (megalópolis). Para México, en 2011, 76.9% de la población estaba concentrada en localidades urbanas, mientras que 23.1% habitaba zonas rurales (CMM, 2014), es decir, el modelo demográfico de hace 100 años ha cambiado totalmente; ahora la población mexicana es predominantemente urbana. La ONU especifica:

La *Nueva Agenda Urbana* de la ONU incorpora un nuevo reconocimiento de la correlación entre la buena urbanización y el desarrollo. Subraya los vínculos entre la buena urbanización y la creación de empleo, las oportunidades de generar medios de subsistencia y la mejora de la calidad de vida, que deberían incluirse en todas las políticas y estrategias de renovación urbana. Esto pone aún más de relieve la conexión entre la *Nueva Agenda Urbana* y la *Agenda 2030* para el Desarrollo Sostenible, en particular el Objetivo 11, que trata de las ciudades y comunidades sostenibles (ONU, 2017).

El calentamiento global, la reducción de GEI y la reducción de la huella de carbono son, hoy en día, temas obligados en la agenda pública de cualquier gobierno y en los intereses de todo ser humano responsable, para coadyuvar a la adaptación y mitigación de los efectos del calentamiento global. El tópico del cambio climático es analizado por algunos estudiosos como una de las megatendencias de la sociedad posmoderna. De acuerdo con datos, que más adelante se expondrán, hubo un aumento de 0.74° C entre 1906 y 2005, y los centros urbanos han desempeñado un papel clave en este proceso, aunque su alcance no está aún totalmente claro, ni ha sido cuantificado (ONU-Hábitat, 2011).

Las actividades antropogénicas como la quema de combustibles fósiles, la contaminación industrial a gran escala, la deforestación y los cambios en el uso del suelo, entre otras, han llevado a la acumulación de GEI en la atmósfera, junto con la disminución de la capacidad de los océanos y de la vegetación para absorber y equilibrar el ciclo natural de estos gases. Lo anterior ha reducido la propia capacidad de la Tierra para restaurar el equilibrio en el ciclo del carbono (principal GEI), lo que está ocasionando los cambios globales actuales en las temperaturas medias. Las pruebas más evidentes y contundentes del cambio climático son días y noches más cálidos y cada vez más calurosos, en la mayor parte del área terrestre, días y noches menos fríos, aumento de la frecuencia de periodos calientes (olas de calor), de la frecuencia de episodios de lluvias torrenciales en la mayor parte del área terrestre, de áreas afectadas por sequía, de la actividad de ciclones tropicales en algunos puntos del mundo y del nivel del mar (ONU-Hábitat, 2011).

Las ciudades consumen entre 60 y el 80% de la energía generada en el ámbito global, asimismo, abonan un porcentaje similar a las emisiones de GEI mundial, principalmente CO₂. Por lógica, los países más urbanizados tienden a generar mayores emisiones de GEI; sin embargo, contrariamente a lo que se

podiera pensar, estas emisiones cada vez están menos relacionadas con actividades industriales, más bien conciernen al consumo de energía requerido para la calefacción y refrigeración, iluminación y alumbrado público, uso de aparatos electrodomésticos y electrónicos, y para el transporte, es decir, la movilidad tanto de mercancías como de personas (CMM, 2014); todas las anteriores son actividades altamente relacionadas con el diseño, planeación, construcción y mantenimiento de las edificaciones e infraestructura urbana. Si bien cada ciudad tiene características particulares, los desafíos que enfrentan son comunes y sus problemáticas son similares.

El consumo anual (año 2005) de CO₂ en México por habitante fue de aproximadamente seis toneladas en promedio (WB, 2010), ligeramente por arriba de China, y que se considera la media mundial; a diferencia de Canadá y Estados Unidos, cuyos consumos por habitante anual (año 2005) fueron de 25 y 23 toneladas de CO₂ e respectivamente, es decir, 4.16 veces más que México, y eso considerando que los valores son conservadores para estos países industrializados.

En la actualidad, la quema de combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural producen más de 30 Gt de CO₂ a la atmósfera cada año, y tan sólo la deforestación de las zonas tropicales produce más de cuatro Gt de CO₂ a la atmósfera cada año (Van Der Werf, 2009), lo cual es muy alarmante en materia de contaminación ambiental y desequilibrio ecológico global. Asimismo, se estima que en el ámbito mundial, las emisiones de CO₂ a la atmósfera emitida por tan sólo la producción del cemento se estima en 2000 Mt anuales, la producción de acero y hierro en 1000 Mt anuales y la manufactura de aluminio de ocho Mt de CO₂ anuales (Van Der Werf, 2009). Éstos son sólo algunos datos relacionados con la industria de la construcción, pero la producción de CO₂ a la atmósfera aumenta exponencialmente con el paso del tiempo, con el crecimiento de las ciudades y con la sobrepoblación; por ejemplo, en México y Latinoamérica, el modelo de ciudades ha concentrado a la población en zonas urbanas y semiurbanas ineficientes e improductivas que profundiza la desigualdad social y genera contaminación y a grandes sectores de la población los pone en situación de riesgo ante el cambio climático (Molina, 2014). Para revertir esto es necesario reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y los impactos ambientales desde varios enfoques, uno de ellos es el enfoque urbano-ambiental, en donde se podrían reducir, evitar y mitigar gran cantidad de los impactos ambientales causados por la edificación de las ciudades desde su planeación y diseño hasta su construcción y mantenimiento.

Por lo anterior, el presente libro tiene por objeto coadyuvar en la adaptación y mitigación ante el cambio climático, derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero, a las ciudades mexicanas desde un enfoque urbano-arquitectónico, mediante la reducción de la huella de carbono, para revertir las tendencias de impactos negativos, desde la planeación y diseño, hasta la construcción y mantenimiento de la infraestructura de las grandes ciudades, es decir, en todo su ciclo de vida.

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

Para puntualizar las ideas expuestas, la obra se segmenta en cinco capítulos: en el primero hablamos de las ciudades porque actualmente el mayor porcentaje de la población mundial habita en ellas, en las cuales ocurren la mayoría de las actividades comerciales e industriales; donde se tiene la oportunidad de generar conocimiento, riqueza y bienestar para la sociedad global y cuyos rasgos característicos principales son: mayor número de habitantes, alta densidad de población, mayor extensión y dotación de todo tipo de infraestructura; pero sobre todo poseen la particularidad de generar economía; por ello, la actividad y el empleo se centra en los sectores secundario y terciario, siendo insignificante el primario (Semarnat, 2013).

Al mismo tiempo, los espacios urbanos son centros que demandan una gran cantidad de recursos, en consecuencia, contribuyen significativamente al cambio climático y generan una mayor presión sobre el medio ambiente. La población humana es la principal causa de presión sobre los ecosistemas, pero al mismo tiempo es el elemento capaz de proponer las posibles soluciones al deterioro, y acciones de conservación de la biodiversidad y de los servicios ambientales, mediante las estrategias de adaptación y mitigación, así como reducción de la huella de carbono. Por ello, la ONU menciona:

No existe una receta única para mejorar la urbanización y lograr el desarrollo urbano sostenible, pero la *Nueva Agenda Urbana* proporciona los principios y las prácticas probadas para dar vida a ese ideal, para trasladarlo del papel al mundo real. Que inspire e informe a los encargados de tomar decisiones y a los habitantes urbanos del mundo para que se apropien de nuestro futuro urbano común (ONU, 2017).

Los impactos del cambio climático amenazan y ponen en riesgo, de manera progresiva, el bienestar de las personas que habitan en las ciudades del mundo. Por lo tanto, las ciudades juegan un papel importante en la reducción de la huella de carbono, mediante la eficiencia en el uso de energía en el sector de transporte y construcción, en los sistemas de abastecimiento de agua y tratamiento de residuos, además, en el manejo de parques y jardines urbanos, así como también en los procesos industriales.

Las ciudades deben mostrar resiliencia ante los efectos del cambio climático y, además, deben orientar su crecimiento hacia un desarrollo bajo en carbono en todas las actividades que realicen en su entorno. Lo anterior para mitigar y adaptarse al cambio climático y sus efectos.

La planeación y diseño resiliente de ciudades ante el cambio climático debe ir acompañado también del diseño adaptativo de infraestructura y de la gestión adecuada de riesgos a desastres. El diseño adaptativo busca aplicar una serie de estrategias para hacer los proyectos más resilientes al clima extremo y cambiante (Ayyub, 2018).

Para concebir la condición de urgencia e importancia de la reducción de la huella de carbono en las ciudades, junto con las acciones de resiliencia y adaptación al cambio climático, es necesario tener un enfoque general del cambio climático y su repercusión en las ciudades. Lo anterior es el objetivo del primer capítulo de este libro. Antes de exponer qué es el cambio climático, se tiene que definir qué es el clima. El promedio del *estado del tiempo* o *tiempo atmosférico* o *meteorológico*, durante un periodo largo para un lugar determinado, es lo que conocemos como clima, y algunas de las variables que lo describen son: la temperatura, la humedad, la lluvia, la cobertura de nubes y las trayectorias del viento (CMM, 2014). De esta manera, el clima depende de un gran número de factores, parámetros o variables climáticas que inciden de manera compleja sobre el estado del tiempo.

La Convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define el cambio climático como un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante periodos de tiempo comparables” (IPCC, 2007 [en línea]). Para el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), el término como tal indica un cambio en el estado del clima identificable (por ejemplo, mediante análisis estadísticos) a raíz de un cambio en el valor medio y en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo prolongado, generalmente cifrado en decenios o en periodos más largos.

Otros estudiosos sostienen que el cambio climático global se refiere a las modificaciones en cualquier aspecto del clima del planeta, tales como la temperatura, precipitación y su intensidad, o las rutas de las tormentas (Miller, 2007). De esta manera, “el cambio climático en las ciudades se basa principalmente en la variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo prolongado, normalmente decenios o incluso más” (CMM, 2014 [en línea]).

El cambio climático y su consecuencia más inmediata, el calentamiento global, plantean desafíos para la gestión ambiental de las ciudades. Las pruebas están dando a conocer que el cambio climático presenta retos únicos para las áreas urbanas, su creciente población y las demandas que éstas generan. Uno de ellos, el que ocupa el tema principal del presente libro, es el de reducir la huella de carbono, mediante un enfoque urbano-arquitectónico, desde la planeación y el diseño, hasta la construcción y el mantenimiento de la infraestructura de las ciudades. La huella de carbono es un indicador reconocido en el ámbito internacional que nos ayuda a comprender, medir y comunicar la dinámica del carbono, convirtiéndose en un elemento clave para los procesos de toma de decisiones; utiliza un enfoque basado en el usuario, con el fin de llevar a cabo un seguimiento de las presiones humanas, en términos de emisiones totales de GEI y de su contribución al cambio climático (Galli *et al.*, 2012).

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

La intención del capítulo primero es describir la estructura y dinámica de la población urbana en México y en el mundo, y las características demográficas más importantes que tienen relación directa con el cambio climático, tanto en el ámbito nacional como global, además de ilustrar los datos más relevantes sobre el fenómeno del calentamiento global, las causas que lo generan y sus principales efectos.

Para concluir este apartado, se presentan datos y cifras acerca de la población urbana en el mundo y en México, para tener un panorámica de la problemática del crecimiento demográfico en las ciudades en las últimas décadas; en un segundo momento, se analizará lo referente a las emisiones de gases de efecto invernadero, para dimensionar el fenómeno del cambio climático y los desafíos que enfrentarán las ciudades en los próximos años, en el tema de la disminución de emisiones para la reducción de la huella de carbono; posteriormente se describirán, de manera general, las contribuciones de las zonas urbanas al cambio climático, así como los impactos de éste en los centros urbanos; y por último, se emitirán algunas conclusiones al respecto del cambio climático y las ciudades mexicanas.

En el segundo capítulo, se analiza el tema de algunos recursos (naturales y tecnológicos) que deben tomarse en cuenta para un diseño urbano de bajo carbono. Entre los temas que se tocarán se encuentra el tema del agua como recurso natural para la vida, su situación actual en México, disponibilidad, producción y las principales acciones para reducir y mitigar la huella que carbono que producen en las ciudades mexicanas. En este mismo sentido, se puntualizarán datos respecto a los parques y jardines en México, la producción de energía eléctrica, manejo sustentable del transporte y el manejo sustentable de residuos sólidos. Recordemos que las propias actividades humanas impactan de diferentes maneras sobre los recursos naturales del planeta. Por ello surge la necesidad de reducir y mitigar hasta donde sea posible estas emisiones, mediante un manejo sustentable de los recursos tanto naturales como tecnológicos, los cuales al utilizarse no pongan en riesgo la calidad de los bienes ambientales y la calidad de vida de las personas.

La situación y las principales acciones que se pueden realizar en materia ambiental para la adaptación al cambio climático se presentan en el capítulo tercero, ya que esto se provoca en su mayoría por las emisiones de gases de efecto invernadero de las ciudades (Kennedy, 2011). Se comienza con el marco normativo sobre la materia y al final se da una revisión sobre las principales acciones que se están considerando en el ámbito nacional para enfrentar el cambio climático en el país, en donde se incluye un decálogo propuesto por los autores.

El capítulo cuarto analiza las ciudades porque son un factor muy relevante en la generación de impactos ambientales, ya sea en los ámbitos local, regional o global. Estos impactos son generados principalmente por la industria y la quema de combustibles derivados del petróleo (Dong *et al.*, 2014) que contaminan el aire, el agua y el suelo, modificando su condición natural y propiciando un “desequilibrio ecológico, es decir, la alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente,

que afecta negativamente la existencia, transformación y desarrollo del hombre y demás seres vivos" (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012 [en línea]). Desde el punto de vista urbano-arquitectónico en respuesta a este problema, han surgido diversos modelos de diseño ambiental de edificios en el mundo, tales como el método estadounidense Leadership in Energy and Environmental Design (LEED®) o el europeo Building Research Establishment-Environmental Assessment Method (BREEAM®), que constan de metodologías encaminadas a reducir los diversos impactos ambientales causados por los edificios, durante todo su ciclo de vida (figura 7), que se manifiestan principalmente en emisiones de CO₂ a la atmósfera propiciando calentamiento global y por consecuencia cambio climático; lo cual ya está generando diversas alteraciones y modificaciones al ambiente provocando desequilibrio ecológico junto con innumerables problemas de salud pública, seguridad y estabilidad de los ecosistemas y sus componentes, incluyendo al ser humano.

Cabe señalar que los mayores impactos ambientales y por tanto la mayor emisión de CO₂ se da en la etapa de uso, operación y mantenimiento de los inmuebles (figura 7), es decir, la vida útil o vida de servicio del edificio, debido a que se requiere gran cantidad de energía y productos para operar el inmueble, tales como energía para iluminación, aire acondicionado, calefacción, calentamiento de agua, energía para electrodomésticos, refrigerantes para aire acondicionado, entre otros aparatos. La segunda etapa del ciclo de vida que más contamina es la que respecta a la fabricación o manufactura de los materiales y productos de construcción, que pertenece propiamente a la segunda fase del ciclo de vida de los materiales (Lockie y Berebecky, 2012). La tercera etapa que más contamina sería la de construcción, la cual se estima sólo 1% del total de emisiones de CO₂ equivalentes. Esto es insuficiente en comparación del 83% de la etapa de uso y operación de los edificios y el 14% de la de manufactura de los materiales (ésta incluye extracción, transporte, fabricación y puesta en obra); seguido de 1% de la distribución de productos, 0.5% de la fase de diseño y planeación y 0.5 % de emisiones de CO₂ para la etapa final de vida útil (remodelación, demolición y disposición final de residuos), según la misma fuente (Lockie y Berebecky, 2012). Lo anterior puede variar dependiendo del tipo de edificio, clima y diseño arquitectónico; por ejemplo, hay edificios que no requieren de aire acondicionado ni calefacción, esto puede llegar a disminuir hasta en 70% la huella de carbono en la fase de vida útil del inmueble.

Por tanto, este libro se dirige a urbanistas, arquitectos, constructores y desarrolladores inmobiliarios, ya que en sus proyectos se debe adoptar, adaptar y crear, si es posible, nuevos modelos y métodos que eviten o mitiguen estos daños al ambiente, que muchas veces son irreversibles. Por ello, en estas páginas se presenta una propuesta ante el problema de cambio climático desde un enfoque urbano-arquitectónico; esta iniciativa se basa en un modelo de diseño ambiental en edificios, el cual podría dar respuesta a la problemática que enfrenta el diseño y planeación de las ciudades ante el calentamiento global y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

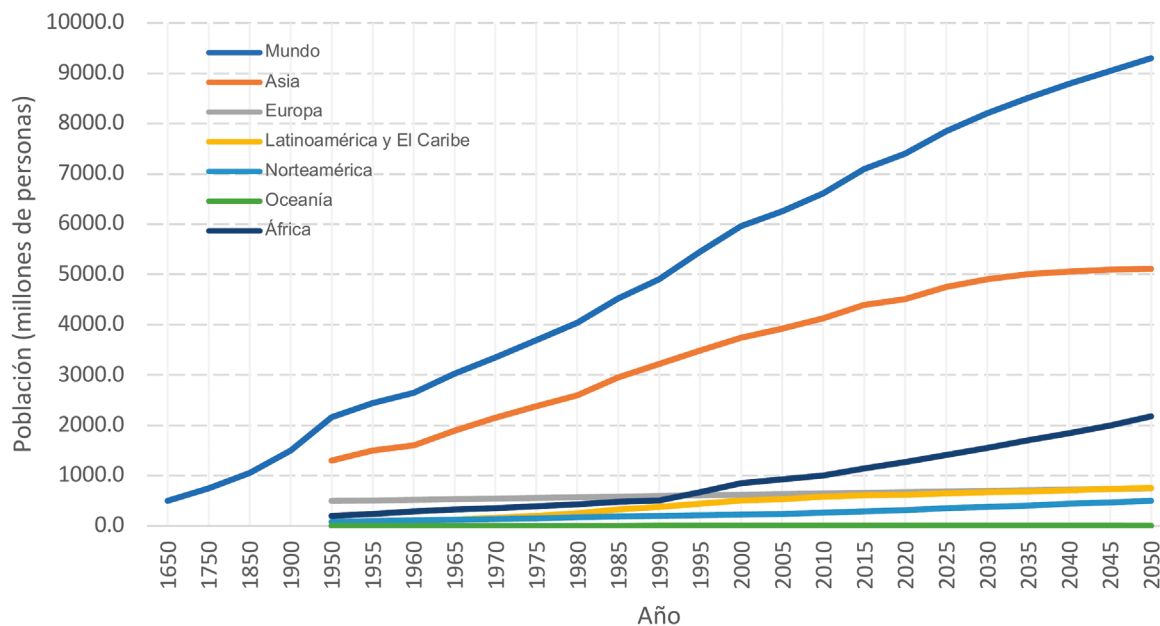


I. Las ciudades y el cambio climático

PROBLEMÁTICA DEL CRECIMIENTO DEMOGRÁFICO Y LA URBANIZACIÓN

El crecimiento acelerado de la población mundial es un fenómeno relativamente reciente. Según algunas estimaciones, desde el inicio de nuestra era y hasta el año 1000 d. C., la población mundial no había rebasado los 300 millones de personas, pero sólo 500 años más tarde, el número de habitantes había incrementado, entre 424 y 484 millones. En 1750, esta cantidad creció aproximadamente 200 millones, llegando a cerca de 700 millones de personas. Para inicios del siglo xx, esta población se había elevado a más del doble y llegó hasta 1 550 millones de habitantes (Caldwell y Schindlmayr, 2002). Sin embargo, las mayores tasas de crecimiento poblacional comenzaron en 1950, impulsadas principalmente por el aumento de la natalidad y la disminución de la mortalidad (a causa de un mayor uso de vacunas, antibióticos e insecticidas) en las regiones menos desarrolladas del mundo; así como por el aumento y crecimiento de los grandes centros urbanos (figura 1). Esta tendencia de crecimiento se mantuvo, para finales del siglo xx ya se habían rebasado los 6 000 millones de habitantes y al finalizar 2011 el planeta albergaba 7 000 millones de personas. La División de Población de las Naciones Unidas tiene proyectado que para 2050 la población global supere los 9 000 millones de personas (onu, 2015b; Semarnat, 2013).

Figura 1. Población mundial por región. Desde 1650 con proyección al 2050



Elaboración propia con base en Caldwell y Schindlmayr, 2002; ONU, 2015b; Semarnat, 2013.

La contribución de cada región del mundo a este crecimiento tiene diferencias importantes. Por ejemplo, en Asia el crecimiento poblacional ha sido muy alto: en 1950 había 1 403.4 millones de personas; en 2010, 4 164.2 millones, y se espera que para 2050 habiten en esta región del mundo 5 142 millones de personas. En Latinoamérica y el Caribe, en 1950 había 167.4 millones, en 2010, 590.1 millones y para 2050 se proyectan casi 751 millones de personas (ONU, 2015b; Semarnat, 2013), siendo la región con la tasa de incremento poblacional más alta del mundo. Estas cifras pueden tener más sentido si se expresan en términos de densidad poblacional en función del territorio disponible.

En Asia, la densidad poblacional en 1950 era de 44 habitantes/km², en 2010 de 130; y para 2050 se esperan 161 personas/km². Para Latinoamérica y el Caribe, en 1950 y 2010 había 8 y 29 personas/km², respectivamente, y se espera que para 2050 se incremente a 37 habitantes/km² (ONU, 2015b; Semarnat, 2013). En el

ámbito mundial, en 1950, la densidad promedio era de 19 personas/km², mientras que en 2010 se alcanzó el promedio de 51 personas/km², y se estima que para 2050 llegue a 68 habitantes/km².

La población urbana mundial ha tenido un aumento de 3.7 veces aproximadamente, en el periodo 1950-2000; para 2000-2030, se proyecta que crecerá 1.5 veces más; mientras que la población rural presenta un crecimiento, para el mismo periodo, de solamente de 2.1 veces, con una tendencia a disminuir en los próximos 15 años (ONU, 2015b). Se tiene proyectado que la población urbana mundial aumente de 1970 a 2030 23% (ONU, 2015b).

Por un lado, la tendencia de la población rural, en todos los países, ha sido disminuir su crecimiento. El incremento promedio fue de 750 millones de habitantes para el periodo de 1950 a 1975 a menos de 100 millones para el periodo 2000-2030; mientras que en las ciudades el incremento promedio poblacional se diferencia claramente por su tipo de ingreso de las ciudades: éstas cuentan con altos ingresos y prácticamente se han mantenido; aproximadamente en 120 millones de personas tiende a disminuir a baja escala, con referencia a los tres periodos reportados por el World Bank (2015), que son: 1950-1975, 1975-2000 y 2000-2030; por otro lado, las ciudades con ingresos de medios a bajos son las que presentan el crecimiento demográfico más alto en los tres periodos mencionados, con un incremento aproximado que va de los 800 millones en el periodo de 1950-1975, hasta los 2 100 millones de habitantes que crecerá en el periodo de 2000 a 2030.

Esto se debe a que en este tipo de ciudades son en las que existe más empleo en la industria, construcción y manufactura, así como de servicios y comercio en general, son las llamadas áreas metropolitanas de los países en desarrollo (tabla 1).

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

Tabla 1. Áreas metropolitanas con más de 5 millones de habitantes, 1950-2013

Puesto Mundial	1950		1975		2000		2013		
	Área	Población (miles)	Área	Población (miles)	Área	Población (miles)	Área	Población (miles)	Densidad* (hab/km ²)
1	Nueva York	12 339	Tokyo	19 771	Tokyo	26 444	Tokyo	27 190	6 029
2	Londres	8 733	Nueva York	15 880	Ciudad de México	18 397	Dhaka	22 766	8 581
3	Tokyo	6 920	Shangái	11 443	São Paulo	17 962	Mumbai (Bombay)	22 577	20 694
4	París	5 441	Ciudad de México	10 691	Nueva York	16 732	São Paulo	21 229	7 383
5	Moscú	5 356	São Paulo	10 333	Mumbai (Bombay)	16 086	Delhi	20 884	9 340
6	Shangái	5 333	Osaka	9 844	Los Ángeles	13 213	Ciudad de México	20 434	5 862
7	Rhein-Ruhr	5 296	Buenos Aires	9 144	Calcuta	13 058	Nueva York	17 944	18 187

*Densidad media de la población principal del área metropolitana.
Elaboración propia con basada en ONU, 2013.

Las principales zonas metropolitanas de México (tabla 2), para 2000 y 2010 han presentado, de manera general, un incremento medio de población del 25%; tan sólo las siete más pobladas, de las 59 zonas metropolitanas de México representaban 31.11% del total de la población nacional en el 2010 (INEGI, 2010).

Tabla 2. Zonas metropolitanas de México con mayor población

Posición	Zona metropolitana	Población (número de personas)	
		Año 2000	Año 2010
1	Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM)	18 396 677	20 116 842
2	Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG)	3 699 136	4 434 878
3	Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM)	3 381 005	4 106 054
4	Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala (ZMPT)	2 269 995	2 728 790
5	Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT)	1 540 452	1 936 126
6	Zona Metropolitana de Tijuana (ZMT)	1 352 035	1 751 430
7	Zona Metropolitana de León (ZML)	1 269 179	1 609 504

Elaboración propia con datos del Censo de Población y Vivienda, INEGI 2000 y Censo de Población y Vivienda INEGI, 2010.

Para México, en 2010, 77.8% de la población estaba concentrada en localidades urbanas, mientras que 22.2% habitaba zonas rurales, es decir, el modelo demográfico de hace 100 años ha cambiado totalmente, siendo ahora la población mexicana *predominantemente urbana*, proporción similar a la tendencia de la región América Latina y el Caribe.

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

El crecimiento demográfico trae consigo una gran demanda de recursos naturales y ejerce una fuerte presión sobre éstos. Por ejemplo, para cubrir el requerimiento de alimentos tanto para uso humano como animal, el sector agrícola utiliza en la actualidad 11% de la superficie terrestre y 70% del agua total extraída de los acuíferos, ríos y lagos, lo que lo convierte en el mayor usuario de los recursos naturales del mundo (Semarnat, 2013). Tan sólo en los últimos 50 años, la superficie cultivada en el planeta creció 12%, cifra que toma mayor relevancia si se considera que la FAO ha calculado que para satisfacer las necesidades de la población se requeriría aumentar la producción mundial de alimentos en 70% para el año 2050 en comparación con los niveles de 2009 (FAO, 2011). Además de la presión para producir alimento, muchas de las actividades humanas generan una gran cantidad de contaminantes y residuos que llegan a la atmósfera, al suelo y a los cuerpos de agua, degradando aún más a los ecosistemas. En 2010, cada habitante del planeta emitió a la atmósfera en promedio 4.44 toneladas de CO₂, el principal gas causante del calentamiento global, aunque con grandes diferencias entre países, por ejemplo, un habitante de los Estados Unidos emitió en promedio 17.3 toneladas; 3.85 toneladas *per capita* en México y tan sólo 0.06 toneladas por persona de Etiopía (IEA, 2012).

EL FENÓMENO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El clima y la temperatura de la superficie de la Tierra dependen del balance entre la energía solar que recibe nuestro planeta (radiación ultravioleta) y la energía que emite (radiación infrarroja). La atmósfera está integrada naturalmente por nitrógeno, oxígeno y argón, primariamente, pero también contiene otros gases importantes, aunque en concentraciones más bajas: bióxido de carbono (CO₂), vapor de agua (H₂O), ozono (O₃), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), que se conocen como gases de efecto invernadero (IPCC, 1996).

Estos gases dejan pasar la radiación solar a través de la atmósfera casi sin obstáculo, pero absorben la radiación infrarroja que emite la superficie de nuestro planeta, e irradian nuevamente una parte hacia ella; esto produce un efecto neto de calentamiento, de manera similar al que ocurre en los invernaderos; por ello, recibe el nombre de efecto invernadero. Sin este efecto, la temperatura de nuestro planeta estaría, en promedio, 33°C por debajo de la media actual, es decir, este fenómeno permite el desarrollo de la vida y las condiciones naturales que conocemos hoy en día en la Tierra (IPCC, 1996, 2007)

A pesar de que existen varios factores que pueden afectar el clima y que hay una variabilidad natural bien documentada, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) concluyó que hay evidencias sólidas de que el calentamiento observado durante los últimos 50 años es atribuible a las actividades humanas (IPCC, 2007), presenta y documenta las evidencias del cambio climático registra-

do (tabla 3), siendo quizá las más notables el aumento promedio de la temperatura media en la superficie terrestre de $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ durante el último siglo y el aumento anual del nivel del mar con una tasa que va de 1 a 2 milímetros durante el siglo xx. Como muestra de lo anterior, está el hecho de que 1998 fue el año más caliente de los registrados hasta la fecha y la década de los noventa se considera como la más caliente en el siglo xx y posiblemente del milenio (IPCC, 2001).

Tabla 3. Resumen de las principales evidencias científicas del cambio climático global

Indicador	Evidencia
Concentración de contaminantes	
CO ₂ atmosférico	280 ppm en el periodo 1000-1750. Para 2000 fue de 368 ppm (incremento $31 \pm 4\%$)
CH ₄ atmosférico	700 ppb en el periodo 1000-1750. Para 2000 fue de 1750 ppb (incremento $151 \pm 25\%$)
N ₂ O atmosférico	270 ppb en el periodo 1000-1750. Para 2000 fue de 316 ppb (incremento $17 \pm 5\%$)
Ozono troposférico	Incremento de $35 \pm 5\%$ en 1750-2000
Ozono estratosférico	Disminución del año de 1970 al 2000; varía con la altitud y latitud
HCFC (Hidrofluorocarbonos), PFC (Perfluorocarbonos) y SF ₆ (Hexofloruro de azufre)	Incrementos globales en los últimos 50 años
Indicadores del clima	
Temperatura superficial media	Incremento de $0.6 \pm 0.2^\circ\text{C}$ en el siglo xx. La superficie terrestre se ha calentado más que los océanos
Temperatura superficial en el hemisferio norte	Se incrementó en el siglo xx más que en cualquier otro siglo en los últimos 1000 años. La década de los noventa fue la más caliente del siglo y posiblemente del milenio*

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

(Continuación)

Indicador	Evidencia
Indicadores del clima	
Precipitación continental	Incremento del 5-10% en el último siglo en el hemisferio norte, aunque disminuyó en algunas regiones como África y partes del mediterráneo*
Eventos de lluvia extremos	Incrementos en latitudes medias y altas del norte*
Frecuencia y severidad de sequías	Se ha observado una mayor incidencia en regiones de África y Asia*
Indicadores biológicos y físicos	
Nivel del mar	Se ha incrementado a una tasa de uno a dos mm por año durante el último siglo
Duración de la cobertura de hielo en ríos y lagos	Disminución de una a dos semanas en altitudes medias y altas del hemisferio norte*
Espesor y extensión de los hielos del ártico	Disminución del 40% del espesor y del 10 al 15% de su área
Cobertura de nieve	Disminución de 10% de acuerdo con imágenes de satélite*
Eventos del fenómeno El Niño	Son más frecuentes, persistentes e intensos durante los últimos 30 años en comparación con los 100 años previos
Blanqueamiento de coral	Incremento en su frecuencia de ocurrencia, principalmente durante los eventos de El Niño
Migración, reproducción y distribución de especies	Migración a latitudes o altitudes mayores de insectos, aves y peces. Cambios en la temporada de reproducción

*Evidencias no tan claras. Fuente: IPCC, 2007.

Como consecuencia de este aumento de temperatura global, existen impactos generalizados en el mundo que muestran patrones globales en los últimos decenios, basados en los estudios realizados desde el *Cuarto Informe de Evaluación* (IPCC, 2014). Los patrones globales de los impactos y efectos del cambio climático se describen en el apartado “Vulnerabilidad e impactos del cambio climático en las zonas urbanas”.

FUENTES DE EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO (GEI)

Emisiones antropogénicas de GEI

Los gases de efecto invernadero tienen origen de emisión tanto por fuentes naturales como por actividades humanas, dentro de las cuales la más importante es la quema de combustibles fósiles. A partir de la Revolución Industrial iniciada en el siglo XVIII, se intensificó significativamente la producción de bienes y servicios, así como la construcción de infraestructura urbana, la cual trajo consigo una mayor demanda y consumo de combustibles fósiles que generaron emisiones crecientes de GEI (IPCC, 2014). Aunque éstos son emitidos por procesos naturales, las actividades humanas generan cantidades adicionales de este tipo de gases, además de otros que no ocurren de manera natural como los clorofluorocarbonos (CFC); hidroclorofluorocarbonos (HCFC) y halones, comúnmente usados en la refrigeración, aire acondicionado y los últimos como agentes extintores de fuego.

El CO₂ es el GEI más importante en términos de su volumen emitido por su larga vida en la atmósfera (entre cinco y 200 años) y por su forzamiento radiativo (1.3-1.5 Wm⁻²), que es un índice del peso del factor como mecanismo potencial de cambio climático y el notable incremento de su concentración en la atmósfera (IPCC, 2001). A este gas se le ha asignado un potencial de calentamiento de uno (tabla 4) y es usado como referencia para establecer el potencial del resto de los GEI (IPCC, 2001; Semarnat, 2014). El CO₂ es el GEI más importante debido a los grandes volúmenes emitidos y al notable incremento de su concentración atmosférica (31% respecto a la época preindustrial).

Tabla 4. Potencial de Calentamiento Global de los nueve principales tipos de GEI

Tipo de gas	Tiempo de vida	Potencial de Calentamiento Global (pcc)		
		20 años	100 años	500 años
CO ₂	variable	1	1	1
CH ₄	12±3	56	21	6.5

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

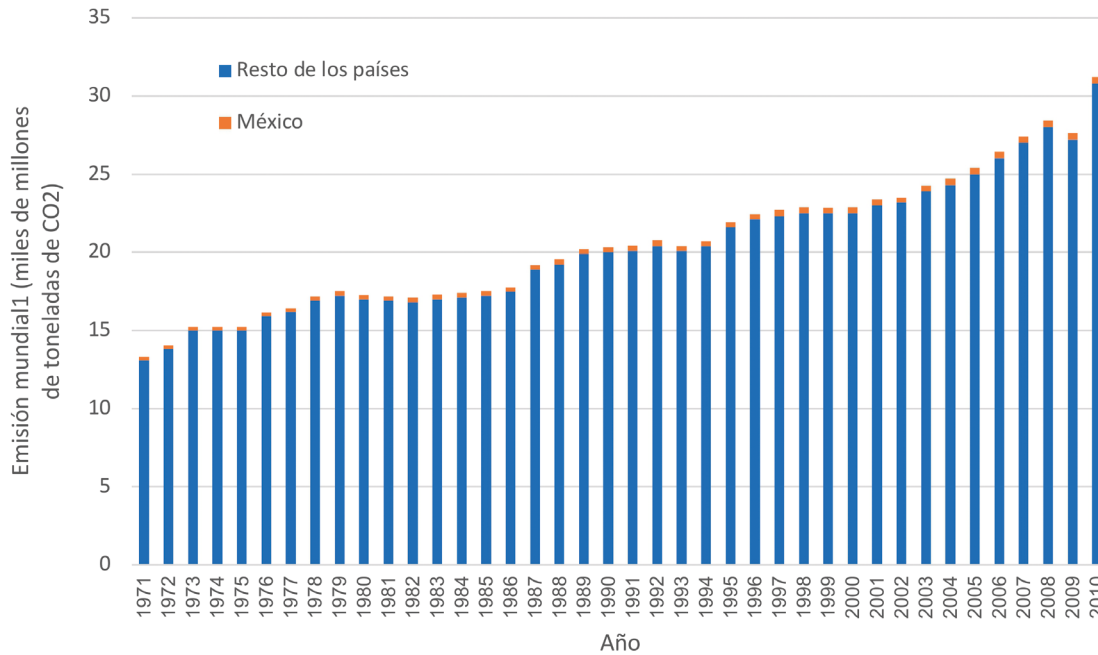
(Continuación)

Tipo de gas	Tiempo de vida	Potencial de Calentamiento Global (pcc)		
		20 años	100 años	500 años
N ₂ O	120	280	310	170
HFC-23	264	9 100	11 700	9 800
HFC-32	5.6	2 100	650	200
SF ₆	3 200	16 300	23 900	34 900
Perfluorometano	50 000	4 400	6 500	10 000
Perfluoroetano	10 000	6 200	9 200	14 000
Perfluorohexano	3 200	5 000	7 400	10 700

Elaboración propia con base en anexo A del *Protocolo de Kioto de las ONU*, 1998; IPCC, 1996; IPCC, 2001.

Emisiones globales de GEI

La emisión de CO₂ se ha incrementado de manera directa con la quema de combustibles fósiles, la quema de biomasa (principalmente la asociada a la deforestación), las emisiones derivadas de la producción de cemento y del cambio de uso del suelo, también han contribuido significativamente al incremento de este gas en la atmósfera (PNUMA, 2002). Durante 1971-2010, la emisión mundial derivada del consumo de combustibles fósiles aumentó alrededor de 115% (figura 2).

Figura 2. Emisión mundial de CO₂ por consumo de combustibles fósiles, 1971-2010

¹ No incluye las emisiones de los búnkeres de barcos internacionales
Elaboración propia con base en IEA, 2012.

De acuerdo con informe publicado por la Agencia Internacional de Energía, en 2010, cinco países fueron responsables del 58% del CO₂ emitido en el mundo por consumo y quema de combustibles fósiles: Estados Unidos, China, Rusia, Japón e India, que en conjunto emitieron 16 935.9 millones de toneladas de un total de más de 30 200 millones de toneladas generadas en el planeta. Entre estos países, destacan China y Estados Unidos, responsables de 24.7 y 18.4%, de las emisiones en el planeta en ese año, respectivamente. La contribución de México a las emisiones globales en 2010 fue de 1.4%, esto lo ubica entre los primeros 15 países por su volumen de emisión. Si se considera la emisión de bióxido de carbono por región, sobresalen Asia (48%), Norteamérica (22%), Europa (21%), América Latina y el Caribe (4%), África (3%) y Oceanía (2%) (IEA, 2012).

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

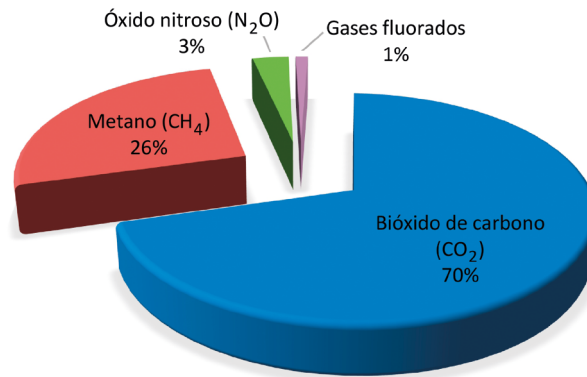
Haciendo una comparación de las emisiones *per capita* en el ámbito regional, para 2007, el primer lugar (muy por encima de la media de países desarrollados que fue de 11.9 toneladas de CO₂ *per capita*) lo tenía Qatar (55); seguido de países como Antillas Holandesas y Kuwait (32.1); Emiratos Árabes y Bahrein (30); EE UU (19.8); la región América del Norte (19.7); y por debajo de la media de países desarrollados, se encontraban Rusia y Países Bajos (11.1); República de Corea, Japón y Alemania (10), así como la Unión Europea (8.1), por mencionar algunos. El promedio mundial de emisiones para 2007 era de 4.6 toneladas de CO₂ per cápita, la media para países en desarrollo fue de 3.5, asimismo el promedio para países menos desarrollados era de 0.97 (ONU-Hábitat, 2011).

Si se examinan las emisiones *per capita* en el ámbito mundial en 2010, destaca de nuevo Qatar (con 36.9 toneladas de CO₂ por habitante); sin embargo, logró reducir sus emisiones en 39.9%; seguido de Kuwait (31.9), quien también disminuyó sus emisiones, aunque a menor escala (0.62%); Trinidad y Tobago (31.9), Luxemburgo (21) y Brunei Darussalam (20.6) como los cinco principales emisores, con volúmenes que representaron entre cuatro y ocho veces la emisión *per capita* mundial, que era del orden de las 4.44 toneladas de CO₂ por habitante (IEA, 2012). En el caso de México, el valor varía, dependiendo de la fuente de datos, entre 3.63 toneladas (INECC y Semarnat, 2015) y 3.85 toneladas de CO₂ por habitante (IEA, 2012). Estas cifras lo ubican en el lugar 70 en el ámbito mundial y el segundo más bajo dentro de los países de la OECD, cuya media es del orden de los 10.1 toneladas por persona (IEA, 2012).

Emisiones de GEI para México

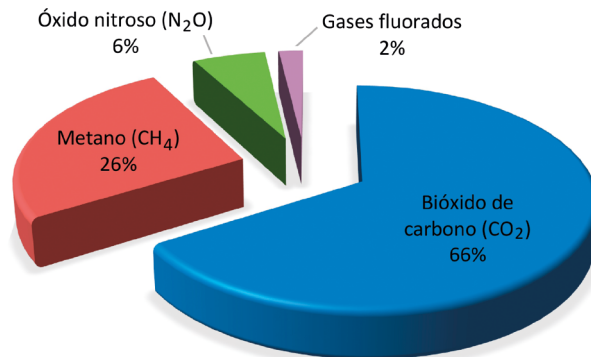
En el Inventario Nacional de Emisiones de GEI de México, elaborado por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), se estimaron las emisiones de GEI para 2013 en megatoneladas (Mt) de CO₂e, para los seis gases enunciados en el anexo A del *Protocolo de Kioto*, de 1998 (Acuerdo Internacional de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que tiene como objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global adoptado en diciembre de 1997). Conforme a los resultados del inventario, estas emisiones tuvieron un incremento del 33.4% en el periodo de 1990 a 2010, con una tasa de crecimiento media anual de 1.5%. En México las emisiones de GEI presentan una distribución como la que se observa en las figuras 3 y 4, comparativo de las reportadas por Sener para 2010 y por el INECC en 2013, respectivamente. Siendo el bióxido de carbono el GEI más abundante, y en el que mayor efecto tienen las actividades antropogénicas. El porcentaje de CO₂ reportado para 2010 pasó de representar 70% al 66.4% del volumen total de emisiones de GEI; por su parte el CH₄, de 26% a 25.6%; para el N₂O, de 3% a 6%; por último, los gases fluorados (HFC, SF₆ y PFC) incrementaron su emisión, de 1% a 2%.

Figura 3. Emisiones por tipo de GEI en México en 2010



Elaboración propia con base en INECC y Semarnat, 2015.

Figura 4. Emisiones por tipo de GEI en México en 2013



Elaboración propia con base en INECC y Semarnat, 2015.

**Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico**

De esta estimación se resume que para 2013 la contribución por fuente de emisión y por gas, en términos de CO₂e, es la siguiente: energía representó 61.2% (dividido en fuentes móviles 26.2%; generación de eléctrica, 19%; residencial y comercial, 3.9%, y petróleo y gas 12.1%); industria 17.3%; agropecuario al 12%; uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura, 4.9%; y residuos, 4.6% (INECC y Semarnat, 2015). Asimismo, se observa en la tabla 5, el resumen de los resultados del *Inventario Nacional de Emisiones de GEI de México* para 2013, donde la principal aportación de este último inventario fue que ha permitido estimar la absorción promedio de bosques y selvas, siendo estas absorciones estimadas por permanencias de -173 Mt CO₂, lo que hace del sector un sumidero importante, y que no había sido considerado en los anteriores inventarios de GEI.

Tabla 5. Resumen del Inventario Nacional de Emisiones de GEI para México

Sector fuentes móviles
<p>1) Reporta las emisiones generadas por la combustión interna de los automotores con motor ciclo Otto y diésel, así como de la combustión interna de los vehículos correspondientes a los sectores de aviación, ferroviario, marítimo, de la construcción y agrícola.</p> <p>2) En 2013 este sector contribuyó con 26% de las emisiones netas de GEI en el ámbito nacional.</p> <p>3) Se calcularon las emisiones de CO₂, CH₄ y N₂O provenientes de:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Fuentes móviles (autotransporte) utilizando estimaciones de la flota vehicular nacional los datos de actividad para cada uso vehicular, y los factores de emisión correspondientes al combustible utilizado y a la tecnología vehicular.b) Fuentes móviles no carreteros, usando tipo y cantidad de combustibles utilizados en los subsectores de aviación, ferroviario, marítimo, de la construcción y agrícola.
Sector generación de electricidad
<p>1) Reporta las emisiones por el uso de combustibles fósiles de las centrales eléctricas operadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) y de Productores Independientes de Energía (PIE).</p> <p>2) En 2013 el sector contribuyó con 19% de las emisiones totales de GEI en el ámbito nacional.</p> <p>3) En el inventario de 2013, se tiene una mayor desagregación de los datos de actividad y factores de emisión más apropiados a las circunstancias nacionales actuales:</p> <ul style="list-style-type: none">a) Se obtuvo información acerca del consumo y tecnología de las unidades distribuidas en 90 centrales de la CFE.b) Consumo de combustibles para 26 de las 28 centrales de ciclo combinado operadas por los PIE.c) Datos de eficiencia de transformación y de generación de energía eléctrica para estimar el consumo de combustibles de las dos centrales restantes de ciclo combinado operadas por los PIE.

Sector residencial y comercial

- 1) Se reportan las emisiones por el consumo de gas natural, gas LP, queroseno, diésel y leña (las emisiones de CO₂ provenientes del consumo de leña son solamente informativas).
 - 2) En 2013 estos sectores contribuyeron con 4% de las emisiones totales de GEI en el ámbito nacional.
 - 3) Para los demás combustibles se consideraron los consumos energéticos sectoriales.
 - a) Para las emisiones de GEI se usó el factor de emisión de las directrices del IPCC.
-

Sector petróleo y gas

- 1) Se reportan las emisiones por la producción, transporte, distribución, procesamiento y uso de hidrocarburos de Pemex.
 - 2) En 2013, las emisiones del sector petróleo y gas contribuyeron con 12% de las emisiones totales de GEI en el ámbito nacional.
 - 3) El inventario 2013 tiene una mayor desagregación de los datos de actividad:
 - a) El consumo de combustible registrado en Pemex.
 - b) Volúmenes de gas desfogado y venteado, los elementos de la red de tubería para el cálculo de las emisiones fugitivas propias reportadas por Pemex.
 - c) De manera complementaria se utilizan datos de actividad nacional de producción, transporte, pozos, entre otros, combinados con un estudio realizado por el Instituto Mexicano del Petróleo.
-

Sector industria

- 1) Reporta las emisiones por el uso de combustibles fósiles de la industria, y de algunos procesos industriales que generan emisiones a partir de la transformación de materias primas en productos, mediante procesos químicos y físicos.
 - 2) En 2013, el sector contribuyó con 17% de las emisiones totales de GEI en el ámbito nacional.
 - a) En el inventario 2013 se tuvo información más desagregada de las empresas de jurisdicción federal en materia de atmósfera, que se reportan en la Cédula de Operación Anual (COA) 2013 de la Semarnat, y se complementó con el Sistema de Información Energética de la Sener.
 - b) Para estimar las emisiones por el gasto de combustibles fósiles en el sector industria se consideró el consumo de combustibles por equipo, y se emplearon factores de emisión de acuerdo con el tipo de combustible.
 - c) Para la industria de los minerales se obtuvo mayor información en la COA sobre las materias primas utilizadas.
 - d) En el consumo de HFC se mejoró el nivel de estimación y está desagregado por refrigeración, aire acondicionado y espumas.
-

Sector agricultura y ganadería

- 1) Reporta las emisiones de las actividades pecuarias: fermentación entérica del ganado y manejo del estiércol; así como las de las actividades agrícolas: manejo de suelos, cultivo de arroz y quema en campo de residuos de cosechas. También se incluyen las emisiones por el uso de combustibles con fines energéticos, utilizados principalmente en sistemas de riego.
 - 2) En 2013, el sector contribuyó con 12% de las emisiones totales de GEI en el ámbito nacional.
 - 3) En este inventario se cuenta con una mayor sistematización y desagregación de los datos de actividad:
 - a) Incluye la actualización al 2013 de los datos de actividad del Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (Siacon), del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de la Sagarpa.
 - b) Para la estimación de las emisiones por combustión de energéticos los datos de actividad empleados fueron los publicados en el Balance Nacional de Energía.
-

Sector residuos sólidos

- 1) Se reportan las emisiones provenientes de la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU), quema a cielo abierto, tratamiento biológico e incineración de residuos peligrosos.
- 2) En 2013, el sector contribuyó con 3% de las emisiones totales de GEI en el ámbito nacional.
- 3) Para cada subsector se utilizaron metodologías, factores de emisión y niveles de actividad con más detalle:
 - a) Se cuantificó la cantidad de RSU generada por municipio y depositada por cada SDF, y se incluyeron datos específicos para el país a través del Modelo Mexicano de Biogás (Environmental Protection Agency, 2012).
 - b) Se calculó la cantidad de RSU quemados en traspatio y los depositados en sitios finales, utilizando la metodología y factores de emisión del IPCC.
 - c) Se consideraron tanto el tipo y la cantidad de residuos incinerados, como el combustible consumido en el incinerador de cada planta.
 - d) Se utilizaron los datos de 86 plantas de composteo.

Sector uso de suelo, cambio de uso de suelo y silvicultura

- 1) Se reportan las emisiones y absorciones de los siguientes tipos de usos del suelo: Tierras forestales (TF); Pastizales (Past) Tierras Agrícolas (TA) Asentamientos (Asent) y Otras Tierras (OT).
- 2) En 2013, el sector tuvo efecto de sumidero, debido a la absorción de CO₂, por parte principalmente de los bosques y selvas que permanecieron como tales, al igual que permanencias en otros tipos de vegetación (pastizales, tierras agrícolas). Esta circunstancia contribuyó con la absorción de -173 MtCO₂, y considerando la conversión de tierras a tierras forestales la absorción es de -186 MtCO₂. La contribución del sector considerando solamente las emisiones totales del inventario, corresponde a 4.9%.
 - a) Se utilizaron las directrices del IPCC 2003, que considera seis principales usos del suelo, cinco reservorios de carbono y la superficie total del país.
 - b) Por primera vez se hizo uso de la información sobre contenidos de carbono colectados por el Inventario Nacional Forestal y de Suelos (INFYS) en sus dos muestreos (2004-2007 y 2009-2013).
 - c) Se utilizó la información de la Serie V de Vegetación y Uso del Suelo del INEGI, y se estiman factores de emisión y absorción nacionales.
 - d) Se utiliza una amplia base de ecuaciones alométricas adecuadas para México en términos ecológicos, que fueron recopiladas de la literatura técnico-científica.

Elaboración propia con base en INECC y Semarnat, 2015. **Nota:** este inventario de 2015 es el más actualizado a la fecha.

EL DESAFÍO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ZONAS URBANAS

El cambio climático supone amenazas para la infraestructura, el bienestar y la calidad de vida en las ciudades. Los inventarios urbanos se hacen indispensables para conocer la situación, definir estrategias prioritarias, atribuir responsabilidades y realizar comparaciones interurbanas e intraurbanas que incentiven la cooperación y la competencia, y no existe una metodología internacionalmente consensuada para medir las emisiones de GEI a escala subnacional (ONU-Hábitat, 2012).

Las fuentes de emisiones de GEI en las ciudades

Analizando el problema desde el consumo de bienes y servicios, y considerando que 80% de la población vive en la ciudad, también parece razonable afirmar que la población urbana sería responsable de aproximadamente 80% de las emisiones de GEI en la región América y el Caribe. Se considera que las principales emisiones de GEI en áreas urbanas están relacionadas con el consumo de combustibles fósiles, empleados fundamentalmente en el transporte (38%), la producción de electricidad (21%), la industria (17%), residencial (6%) y otros (18%) (ONU-Hábitat, 2012).

En estos sectores clave, dentro de las ciudades, existen fuentes de emisión importantes, que al mismo tiempo pueden significar oportunidades atractivas de reducción, por ejemplo, *mediante de las propuestas concretas del enfoque urbano-arquitectónico*, presentadas en el presente libro, se coadyuvaría a disminuir significativamente las emisiones del sector de transporte, del residencial y de la generación de electricidad en las ciudades. Además de medidas de eficiencia energética en todos los sectores, así como proyectos de energías renovables, mediante los cuales se pueden generar beneficios socioeconómicos y también tener una gestión ambiental mejorada.

El cálculo a escala nacional suele basarse en la producción, ya que las estimaciones existentes difieren en función de que se considere la producción o el de consumo de los bienes y servicios. Al basarse en esta metodología aparecen cifras muy bajas en el contexto urbano, ya que aproximadamente 70% de las emisiones regionales de GEI provienen de la agricultura y la silvicultura, un rubro que no se contabiliza en las ciudades de Latinoamérica y el Caribe. Por ello, una aproximación de ese tipo en el ámbito urbano es discutible también para las ciudades mexicanas. Las urbes se nutren principalmente de productos originados fuera de sus límites políticos y administrativos. En una lógica de sistema, las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en zonas rurales o en otros países no son del todo extrañas a las zonas urbanas, ya que están íntimamente vinculadas con el estilo de vida de los centros urbanos (ONU-Hábitat, 2012).

A escala mundial, 31% de las emisiones de GEI pueden asignarse a actividades relacionadas con la agricultura y la silvicultura, para México este sector aporta 16.9% de las emisiones totales de GEI (Semarnat, 2013). Las zonas urbanas determinan las emisiones procedentes de la agricultura, el cambio en el uso de la tierra y la silvicultura de dos maneras principalmente (ONU-Hábitat, 2011):

1. El proceso de urbanización puede ocasionar cambios directos en el uso del suelo, como por ejemplo, que la tierra destinada a la agricultura llegue a formar parte de las zonas edificadas. De hecho, las tendencias urbanas mundiales hacia la suburbanización indican que las ciudades continúan expandiéndose e invadiendo tierra que podría haber estado cubierta con vegetación, reduciendo así su capacidad para absorber CO₂

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

2. Los patrones de consumo de residentes urbanos que están aumentando sus niveles de riqueza pueden determinar el tipo de actividades agrícolas llevadas a cabo. Para cubrir sus necesidades de consumo, las empresas, los hogares y las instituciones municipales demandan cada vez más en materia de bosques, tierras de cultivo y cuencas fluviales fuera de los límites urbanos.

Además, las emisiones globales y nacionales de GEI no se distribuyen equitativamente entre las naciones y los centros urbanos. Un aspecto relevante sobre los inventarios de GEI es que las emisiones *per capita* promedio de muchas grandes ciudades son considerablemente más bajas que las del país en el que se encuentran (tabla 6).

Tabla 6. Emisiones de GEI, en el ámbito urbano-nacional de algunas ciudades del mundo

Ciudad	Emisiones de GEI urbano <i>per capita</i> en toneladas de CO ₂ e (año de estudio)	Emisiones de GEI nacionales <i>per capita</i> en toneladas de CO ₂ e (año de estudio)
Washington, DC (EE UU)	19.7 (2005)	23.9 (2004)
Glasgow (RU)	8.4 (2004)	11.2 (2004)
Toronto (Canadá)	8.2 (2001)	23.7 (2004)
Shangái (China)	8.1 (1998)	3.4 (1994)
Nueva York (EE UU)	7.1 (2005)	23.9 (2004)
Beijing (China)	6.9 (1998)	3.4 (1994)
Londres (RU)	6.2 (2006)	11.2 (2004)
Tokio (Japón)	4.8 (1998)	10.6 (2004)
Seúl (República de Corea)	3.8 (1998)	6.7 (1990)
Ciudad	Emisiones de GEI urbano <i>per capita</i> en toneladas de CO ₂ e (año de estudio)	Emisiones de GEI nacionales <i>per capita</i> en toneladas de CO ₂ e (año de estudio)

(Continuación)

Barcelona (España)	3.4 (1996)	10.0 (2004)
Ciudad de México (México)	2.9 (2000)	4.9 (2002)
Río de Janeiro (Brasil)	2.3 (1998)	8.2 (1994)
São Paulo (Brasil)	1.5 (2003)	8.2 (1994)

Fuente: Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos, 2011; Dodman, 2009; Sedema, 2008.

De acuerdo con el *Programa de las Naciones Unidas para los Asientos Humanos*:

Cualquier afirmación general sobre la contribución de las zonas urbanas o ciudades a las emisiones de GEI debe tratarse con mucho cuidado. No hay una definición aceptada mundialmente sobre lo que es una zona urbana o ciudad, ni tampoco estándares aceptados globalmente para registrar las emisiones producidas en áreas subnacionales. Además, no está muy claro el asunto de la responsabilidad en los enfoques basados en producción o consumo y, por ello, distinguir exactamente cómo las zonas urbanas “contribuyen” al cambio climático puede ser un proceso bastante subjetivo (ONU-Hábitat, 2011).

Vulnerabilidad e impactos del cambio climático en las zonas urbanas

La vulnerabilidad se refiere al nivel o grado de riesgo a algún tipo de desastre natural o de origen antropogénico que tienen en este caso las ciudades.

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

Tabla 7. Algunos posibles efectos del cambio climático en las ciudades

Cambio	Efecto en las zonas urbanas	Efectos en los hogares urbanos
Periodos cálidos y olas de calor: Mayor frecuencia en la mayoría de las zonas terrestres	Islas de calor con temperaturas de hasta 7 °C más elevadas.	Mayor riesgo de enfermedades (transmitidas por vectores) y muertes relacionadas con el calor.
	Mayor contaminación del aire.	Efectos en quienes realizan tareas fatigosas. Mayor incidencia de enfermedades respiratorias. Escasez de alimentos debido a los efectos en la agricultura.
Fuertes precipitaciones: Mayor frecuencia en la mayoría de las zonas Mayor intensidad de la actividad ciclónica tropical (incluidos huracanes y tifones)	Interrupción en el acceso a los medios de subsistencia y en las economías de las ciudades.	Mayor incidencia de enfermedades relacionadas con los alimentos y el agua.
	Daños a viviendas, bienes, empresas, transporte e infraestructura en general.	Aumento del paludismo debido a las aguas estancadas.
	Pérdida de ingresos y activos. A menudo, desplazamientos de población y por consiguiente riesgo para los activos y las redes sociales.	Menor movilidad y sus consecuencias sobre los medios de subsistencia. Escasez de alimentos. Desplazamientos y riesgos conexos para la salud mental.
Mayor superficie afectada por la sequía	Escasez de agua.	
	Migración de las personas afectadas.	Mayor escasez de alimentos y agua.
	Limitaciones para la generación hidroeléctrica.	Mayor incidencia de malnutrición y enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos.
	Menor demanda rural de bienes y servicios. Mayor precio de los alimentos.	Mayor riesgo de incendios forestales y problemas respiratorios conexos.

(Continuación)

Cambio	Efecto en las zonas urbanas	Efectos en los hogares urbanos
Aumentos extremos en el nivel del mar	Pérdida de bienes y empresas.	Inundaciones costeras.
	Perjuicio para el turismo.	Mayor riesgo de muerte y lesiones.
	Daños a las construcciones por la elevación de la capa freática.	Pérdida de medios de subsistencia. Problemas de la salud por la mayor salinidad del agua.

Fuente: Cities Alliance, 2015

El desarrollo urbano mal planificado, mal diseñado, mal construido, sin mantenimiento y mal gestionado es un factor altamente significativo para aumentar el riesgo de desastres.

Adaptación y mitigación al cambio climático en las ciudades

Debido a que parece inevitable que el cambio climático produzca efectos negativos importantes, es fundamental que los países, regiones, ciudades y comunidades en general, adopten medidas prácticas frente a su vulnerabilidad, para protegerse de los riesgos, daños y probables perturbaciones influidas por el clima. De las secciones anteriores, se desprende la importancia y la urgencia de diseñar estrategias para enfrentar el cambio climático. Estas se han categorizado en dos tipos principales:

1. Estrategias de mitigación: se orientan a disminuir las emisiones de GEI producidos principalmente a partir del cambio de uso del suelo y la quema de combustibles fósiles y, por consiguiente, a limitar los peligros derivados del cambio climático de origen antropogénico. La mitigación es considerada como un proceso global debido a que la reducción en la emisión de GEI ayuda a evitar el aumento de la temperatura de todo el planeta (CMM, 2014). El IPCC define la mitigación como “la intervención antropogénica para reducir las fuentes o mejorar los sumideros de gases de efecto invernadero” (IPCC, 2007).

2. Estrategias de adaptación: como se mencionó en la sección anterior, aun si las emisiones de GEI se paralizaran por completo, los efectos del cambio climático de origen antropogénico son irreversibles

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

en una escala de varios siglos o incluso milenios (IPCC, 2014). Las estrategias de adaptación se enfocan en el diseño e instrumentación de acciones que faciliten la organización social, la disposición de medios técnicos y la cooperación internacional. Así, se pretende que estas estrategias permitan sortear con éxito las nuevas circunstancias de riesgo ante los fenómenos meteorológicos extremos. La adaptación tiene un ámbito local, pues los fenómenos meteorológicos extremos afectan a regiones y sitios específicos, donde la vulnerabilidad de la población hace necesario el fortalecimiento de las capacidades adaptativas. Este fortalecimiento se logra a través de la instrumentación de medidas que prevengan o reduzcan los impactos de eventos como lluvias extremas o sequías severas (CMM, 2014). De acuerdo con IPCC, las estrategias se definen como el “ajuste de los sistemas humanos o naturales frente a entornos nuevos o cambiantes” (IPCC, 2007).

La mitigación y la adaptación al cambio climático no son opuestas ni necesaria y mutuamente excluyentes (CMM, 2014). El presente libro busca sinergias entre ambas estrategias para maximizar su efectividad, y como se verá, *el enfoque urbano-arquitectónico* propuesto promueve acciones que contribuirán tanto a la adaptación y la mitigación mediante la reducción de la huella de carbono de GEI, como a la disminución de la vulnerabilidad de las ciudades mexicanas frente al cambio climático, mediante el adecuado diseño, planeación, construcción y mantenimiento de la infraestructura y equipamiento urbano.

De manera general, existen *cinco sectores clave* en los que se han concentrado las reacciones de las zonas urbanas para mitigar el cambio climático: *desarrollo y diseño de las zonas urbanas, el entorno edificado, en las infraestructuras urbanas, transporte y captura de carbono* (tabla 8); sectores con los cuales el enfoque urbano-arquitectónico y el decálogo que se propone en el presente libro tienen coincidencias, concordancias, simultaneidades y concomitancias; en cuanto a puntos clave y propuestas concretas para la reducción de huella de carbono en las ciudades, para la adaptación y mitigación al cambio climático.

Tabla 8. Sectores clave para adaptación y mitigación del cambio climático en las zonas urbanas

Sector	Principales características
Desarrollo y diseño de las zonas urbanas	El uso de la energía en una ciudad y las consecuentes emisiones de GEI depende tanto de la forma de desarrollo urbano (su situación y densidad) como de su diseño. El doble desafío del crecimiento urbano descontrolado y del aumento de asentamientos urbanos informales resulta especialmente problemático, de modo que, para tratar de abarcar estos retos, se han empleado varias estrategias de planificación del uso del suelo: los ordenamientos territoriales; la densificación urbana y los estándares de desarrollo y diseño urbano para limitar la expansión urbanística; reducir la necesidad de desplazamientos y aumentar la eficiencia energética del área urbana edificada.

(Continuación)

Sector	Principales características
Entorno edificado	El diseño y el uso del entorno edificado representan un aspecto fundamental para la mitigación del cambio climático, ya que, en la mayoría de los países, el sector de la construcción consume aproximadamente un tercio de la energía total utilizada, mientras que la proporción de electricidad consumida es incluso mayor. A pesar de las iniciativas que podrían llevarse a cabo, las medidas en este sector tienden a centrarse en tecnologías eficientes desde el punto de vista energético, tecnologías alternativas de energía y actividades para la reducción de la demanda. Este tipo de medidas de eficiencia energética necesitan unirse a otras para desarrollar fuentes de energía renovables con baja emisión de carbono y conseguir reducir la demanda de energía.
Infraestructuras urbanas	Las infraestructuras urbanas, concretamente las redes de energía (electricidad y gas) y los sistemas de agua y de saneamiento son fundamentales en las trayectorias actuales y futuras de las emisiones de GEI. El tipo de suministro de energía, la intensidad de carbono en los servicios de agua, saneamiento y residuos, y la liberación de metano procedente de vertederos son componentes significativos de las emisiones de GEI.
Transporte	Como es el caso del uso de gas natural comprimido en transporte de ciudades como Teherán, Bombay, Dacca y Bogotá, mientras que en países como Brasil los biocarburantes se promocionan en las megaciudades del país. Para el caso de México, existen algunos esfuerzos incipientes del uso de biocombustibles (biodiésel y bioetanol) en el transporte público urbano, en forma de proyectos aislados, ejemplos en Tuxtla Gutiérrez (Chiapas) y Celaya (Guanajuato); así como en el transporte de vehículos particulares en los estados de Veracruz, Tamaulipas, Jalisco, Nuevo León y Ciudad de México, donde se tiene proyectado abrir al menos 10 biogasolineras, que darán servicio a un aproximado del 1% de los autos en México, es decir, unos 100 000 automóviles en México que tienen la capacidad de usar biocombustible.
Sector	Principales características
Captura de Carbono	La captura de carbono implica la eliminación de las emisiones de GEI de la atmósfera mediante la mejora de los sumideros naturales (conservación de las zonas forestales), el desarrollo de nuevos sumideros de CO ₂ (reforestación) o la captura y almacenamiento de los GEI generados en la ciudad (captura de metano procedente de vertederos para generar energía). La captura de CO ₂ en la mayoría de las ciudades continúa en una fase incipiente. Actualmente, la mayor parte de las iniciativas de captura de CO ₂ en el plano urbano se relacionan con las plantaciones de árboles (parques y jardines), muros o techos verdes, además de la restauración y conservación de los existentes.

Fuente: ONU-Hábitat, 2011.



II. Acciones de reducción y mitigación de la huella de carbono en las ciudades de México y Latinoamérica

MANEJO SUSTENTABLE DEL AGUA EN LAS CIUDADES

La importancia del agua en nuestro planeta se traduce a un recurso vital, sencillamente sin agua no habría vida en la Tierra; la flora y la fauna silvestre dependen de ella para su subsistencia. En el caso de los seres humanos, las ciencias médicas mencionan que el agua constituye 70% de nuestro cuerpo, además es un recurso que utilizamos todos los días durante toda nuestra vida. Por mencionar algunos ejemplos: el consumo doméstico, la agricultura, la industria, la producción de energía e infinidad de actividades requieren de este recurso para ser posibles. Aunque el agua es el elemento más frecuente en la Tierra, sólo 2.53% del total es agua dulce y el resto, salada. Por si fuera poco, de este porcentaje dos tercios se encuentra congelada en los glaciares, por lo que el agua dulce disponible para el humano aún es menor. La buena noticia al respecto es que el recurso hídrico es renovable (salvo algunas excepciones de aguas subterráneas), ya que, a través de

la precipitación, el agua se renueva y se encuentra disponible para los usos humanos y los servicios ecosistémicos (UNESCO, 2003).

México está considerado como un país con baja disponibilidad de agua. El volumen promedio del vital líquido que llega por precipitación anualmente es de 1 489 km³; sin embargo, la mayor parte (73.1%) regresa a la atmósfera por evapotranspiración (término que engloba tanto el agua de los mares recuperada por evaporación, como el agua recuperada por las superficies de los vegetales y se conoce como transpiración). Además del agua que ingresa por lluvia, México recibe alrededor de 50 km³ de los ríos fronterizos, de manera que, en términos generales, la disponibilidad natural media es de 460 km³ de agua anual. Comparado con otros países, esta cifra es superior a la mayoría de los países europeos, por ejemplo, pero muy inferior a Estados Unidos con 3 051 km³, Canadá con 2 902 km³ o Brasil con 8 233 km³ (Semarnat, 2012).

La disponibilidad de agua *per capita* en el mundo ha disminuido de forma drástica debido principalmente al aumento de la población (FAO, 2013). En 1960 cada individuo disponía de 11 300 metros cúbicos de agua; sin embargo, para 2010 esta cifra disminuyó a 5 000 m³; para México en 1950, la disponibilidad de agua era de 17 742 m³ por persona, cifra que disminuyó en 2010 a 4 090 m³ (Semarnat, 2012).

Por los datos que se han mencionado, es un hecho que la demanda de agua está y seguirá en aumento. En México durante 2012, se contabilizaron 112 336 538 habitantes y se proyecta que en 2020 esta cifra aumente a 127 091 642 habitantes. De este crecimiento poblacional, muy probablemente un porcentaje mayor al 50% dependerá de las ciudades para su subsistencia, ya que el ritmo de crecimiento urbano para México, desde 1940, ha ido al alza, tanto que en 2010 al rededor del 78% de la población ya vivía en zonas urbanas (INEGI, 2010). Este aumento en la población lógicamente implicará nuevas estrategias y procesos para el suministro demandante del recurso, lo que en términos ambientales significará un aumento en las emisiones de GEI, que serán liberados durante la producción de la energía necesaria para operar las nuevas fuentes de extracción y bombeo de agua dulce.

El principal reto en países como el nuestro es asegurar el suministro de agua a toda la población, con prioridad de aquella que se encuentra en asentamientos irregulares y pobreza extrema, así como procurar el suministro para la producción de alimentos y del sector industrial. Lo anterior se procura para no aumentar la presión al medio ambiente y respetando los compromisos internacionales adquiridos, los cuales se mencionan en el capítulo tercero de este trabajo referente al marco normativo.

Para hacer frente a esta situación y participar en la reducción de la huella de carbono, en México se están elaborando programas especiales de acción ante el cambio climático en los ámbitos estatal y local, pues éstos también están alineados con el marco normativo nacional e internacional. Por citar un ejemplo, se tiene el caso del *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020*, elaborado por el

Centro Mario Molina, que para el caso de la “Gestión Integral de los Recursos Hídricos” (como se denomina en el documento), se proponen dos programas: el primero refiere al ahorro de agua en oficinas y edificios públicos y captación de agua pluvial; y el segundo a la supresión de fugas y rehabilitación de tuberías. Para cada una de estas acciones se detallan objetivos, responsables, descripción de las actividades, relación con los instrumentos de política nacional y local, justificación, costos, metas e impactos. El objetivo que se debe conseguir con este programa es lograr un uso eficiente del agua, el cual de acuerdo al documento, se verá reflejado en un menor consumo de energía eléctrica para el bombeo y una reducción de los caudales de aguas residuales.

Aunado con este tipo de programas, se encuentra el sector académico y de investigación, mediante investigaciones como la del presente libro se proponen nuevas formas de diseñar y edificar el sector urbano. Para ello se desarrolló el apartado del capítulo cuarto “Modelo general sobre edificación y urbanización ambiental en México para la reducción de la huella de carbono”. En éste, se podrá encontrar la tabla 12, en la que se detallan las estrategias de diseño sustentable en edificación y urbanización por rubro. La primera de ellas: *Estrategias del sitio*, en el punto de “Planeación y control de la cantidad de agua de lluvia en el sitio” (captación, almacenaje y uso); y la segunda: *Estrategias de agua*, con siete acciones o estrategias focalizadas.

MANEJO SUSTENTABLE DE PARQUES Y JARDINES EN LAS CIUDADES

Los parques y jardines en las ciudades se forman por organismos vegetales: árboles, arbustos, pastos y plantas florales, principalmente. Esta vegetación natural brinda un sinnúmero de servicios ambientales, algunos probablemente resulten obvios, pero otros quizá no sean valorados por desconocimiento. Es el caso de la mitigación del cambio climático a través de la absorción de bióxido de carbono (producido por los coches, los procesos industriales, la generación de energía, entre otras) así como la retención misma de carbono, como se mencionó en el capítulo anterior. Otro servicio que casi nunca es mencionado, aunque en arquitectura es muy valorado, es la belleza escénica, un bosque o incluso un área verde urbana tiene un valor emocional, recreativo y hasta espiritual para las personas que conviven en ese espacio.

Entre los servicios ambientales que proporcionan los diferentes ecosistemas (nos referiremos a bosques, selvas y matorrales) se encuentran: la estabilización del clima y la atmósfera; son reguladores fundamentales del ciclo hídrico y de la humedad; regulan el agua en cuencas y aminoran inundaciones y deslaves; protegen los suelos y controlan la sedimentación y son fuente de productos forestales, tanto maderables

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

como no maderables (Conafor, 2004). Afortunadamente, México tiene una gran superficie de ellos; en conjunto, los diferentes tipos de vegetación ocupan una superficie aproximada de 140 millones de hectáreas que representan 73% de la superficie total del país. Las áreas con matorral xerófilo (semidesértico) cubren 41%, los bosques templados el 24%, las selvas 23% y 12% corresponde a otras asociaciones vegetales (CONAFOR, 2004). A su vez, México está considerado como uno de los 12 países megadiversos en el ámbito mundial. Es uno de los 10 países con mayor superficie de bosque primario (especies nativas) y el mayor centro de diversidad mundial de los géneros *Pinus* y *Quercus* (encinos) con alrededor de 50% y 33% de las especies conocidas respectivamente (Styles *et al.*, 1993).

Desafortunadamente, estas cifras van en descenso. La pérdida de bosques y selvas en México fue de 155 000 hectáreas anuales en promedio de 2005 a 2010. Las principales causas de esta disminución de recurso son: el cambio de uso del suelo primordialmente para la reconversión agrícola y producción de animales, los incendios, la tala ilegal, las plagas y enfermedades y la construcción de espacios rurales y urbanos (FAO, 2014). Estas causas, a su vez, son resultado del sistema capitalista implementado en México a mediados del siglo xx, que trajo además de otras cosas, modelos “desarrollistas” como la Revolución verde en la década de los sesenta, que propuso una implementación tecnológica en la agricultura y que modificó los espacios rurales en todos sus niveles.

Para revertir este daño, acciones como la reforestación de áreas degradadas cobra relevancia. En México, destaca esta actividad a partir de 2007 con la puesta en marcha del programa ProÁrbol. Pese a que en años anteriores ya habían existido iniciativas de este tipo, con el programa referido (aunque polémico) se entregaron incentivos económicos a productores forestales, con el fin de promover acciones de restauración en áreas degradadas. De acuerdo con la Comisión Nacional Forestal, al cierre del periodo 2007-2012, se reforestaron en México 2.18 millones de hectáreas y se instalaron 127 112 hectáreas de plantaciones forestales comerciales. Con ello, el *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)* posicionó a México en el cuarto lugar en el ámbito mundial en acciones de reforestación, después de China, India y Etiopía (Conafor, 2012).

Por su parte, en el ámbito urbano los datos son muy distintos, ya que México no es un país que sobresalga por sus áreas verdes, pese a la situación ambiental tan deteriorada y su sobrepoblación. En la ciudad, el parámetro más utilizado para cuantificar los parques y jardines está dado en m² de área verde por habitante. En la década de los noventa, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció la recomendación de que en toda zona urbana debería existir un mínimo de 9 m². Sin embargo, algunos estudios reflejan que en México, ciudades como el Ciudad de México, cuentan con un promedio de 2 m² de espacio verde público por habitante (Meza y Moncada, 2010).

En la actualidad, este recurso natural en la ciudad cobra una importancia ambiental sin precedentes. Si bien históricamente la instalación de áreas verdes en las grandes urbes de México se hacía por cuestiones de estética y creación de espacios de ocio para la burguesía, ahora existe una necesidad ambiental para hacerlo (Meza y Moncada, 2010). En este sentido, los beneficios de las áreas verdes urbanas, ya sean parques o jardines, son similares a los mencionados anteriormente en un ambiente natural (bosques y selvas). En cierto modo son una aproximación al bosque natural y sus beneficios se reflejan principalmente en una mejora de la calidad del agua y el aire; aumento de las áreas de captación y almacenamiento de agua y estabilización de los suelos; además las áreas verdes actúan como amortiguadores de las temperaturas extremas, al dar sombra en temporadas muy cálidas y convertirse en barreras cortavientos en temporadas frías; aminoran la contaminación por ruido; así también se puede convertir en un hábitat para la fauna silvestre (Sorensen *et al.*, 1998).

Entre el sinnúmero de beneficios que se mencionan y aquellos que no han sido puntualizados, en este libro se resalta la mejora en la calidad del aire, que se vería reflejado principalmente con la disminución de los niveles de GEI. Se tiene el registro de que en México los niveles de contaminación del aire han aumentado considerablemente. Entre los daños que esta contaminación atmosférica provoca se menciona el aumento del efecto invernadero y sobremanera el impacto a la salud de los habitantes. En este último, los daños son muy diversos, pues existen factores que están en juego, entre ellos el tipo de gas al que se esté expuesto, la concentración, el tiempo de exposición, entre otros; sin embargo, estudios han demostrado que el daño principal se ve reflejado en las vías respiratorias (cáncer de pulmón y enfermedades cardiopulmonares) (Rojas y Garibay, 2007).

Por ello, las áreas verdes urbanas juegan un papel primordial en la reducción de la huella de carbono en las ciudades. La vegetación urbana puede reducir los niveles de GEI de dos maneras principalmente: por un lado, a través de la fotosíntesis (todas las plantas absorben bióxido de carbono y a cambio liberan oxígeno); y por el otro, al mejorar la sensación térmica con la ayuda de vegetación, los habitantes utilizarán menos combustible para refrescar sus espacios y por ende se reducirán las emisiones de gases (Sorensen *et al.*, 1998).

Existen diversas iniciativas por parte de los gobiernos en México que promueven el incremento de las áreas verdes al interior de las ciudades. Una de ellas la constituyen las campañas de reforestación en las que participan instancias como la Secretaría de Educación Pública, la Secretaría de Agricultura, el Ejército Mexicano, la Secretaría de Desarrollo Social, grupos ecologistas y organizaciones urbanas y rurales. Otra estrategia ha sido la naturación urbana surgida en Europa en la década de los noventa; esta técnica se define como el tratamiento de superficies horizontales, verticales o inclinadas, con vegetación especialmente adaptada (Neila, Bedoya y Britto, 1999). Aunque en México ya no es nuevo hablar de esta técnica, lo cierto es que no se ha adoptado del todo quizá por su alto costo; sin embargo, existe un campo de oportunidad para “naturar”

espacios dentro de las ciudades. Algunos ejemplos son las azoteas y tejados; fachadas o paredes verdes; vías de tren y tranvía (utilizando el espacio entre rieles y los propios techos); incluso vehículos de parque público (Urbano López, 2013).

MANEJO SUSTENTABLE DE LA ENERGÍA EN LAS CIUDADES

En el ámbito mundial, la industria energética es la que mayores niveles de GEI emite a la atmósfera. Más del 80% del consumo energético del mundo proviene de los combustibles fósiles. El sector energético requiere tanto de la generación como del consumo propio de electricidad. En el caso de la generación de electricidad, alrededor del 60% se produce a partir de combustibles fósiles, le sigue la energía nuclear y la energía hidráulica, principalmente. En México, el porcentaje de energía eléctrica generada a partir de combustibles fósiles es del 80%, dentro de los que destacan: en primer lugar, el gas natural, le sigue el carbón, el combustible y el diésel en menor proporción (Sener, 2011).

En la tabla 9 se muestran los diferentes tipos de tecnologías que se tienen en México para la producción de la energía eléctrica y el número de centrales instaladas.

Tabla 9. Tecnologías en México para la producción de energía eléctrica

Generador	Tipo de tecnología	Número de plantas centrales
CFE	Hidroeléctrica	80
	Vapor (combustóleo y gas)	26
	Ciclo combinado	13
	Carboeléctrica	3
	Turbogás	46
	Geotermoeléctrica	4
	Combustión interna	9
	Eoloeléctrica	3
	Solar fotovoltaica	2
	Nucleoeléctrica	1

II. Acciones de reducción y mitigación de la huella de carbono en las ciudades de México y Latinoamérica

(Continuación)

Generador	Tipo de tecnología	Número de plantas centrales
Total CFE		187
Productores independientes de energía (PIE)	Ciclo combinado	23
	Eoloeléctrica	5
Total PIE		28
Total		215

Fuente: Informe anual 2014 de la CFE, 2014.

Aquellas tecnologías de producción que utilizan combustibles fósiles son las de vapor (combustóleo y gas), ciclo combinado, carboeléctrica, turbogas y combustión interna. Aunque estas tecnologías están fuertemente cuestionadas por la gran cantidad de emisiones contaminantes, lo cierto es que con ellas la producción eléctrica en el mundo y en el país está asegurada. En 2014, las 215 centrales para la generación de energía eléctrica que se encuentran en México tuvieron una capacidad instalada de 54 374.7 Megawatts (Mw), con lo que se cubrió alrededor del 95% de la demanda de electricidad en el país. De esta producción, el sector residencial (tercer consumidor en el ámbito nacional) empleó la electricidad en los siguientes aparatos: refrigerador con 39%, focos con 27%, televisión con 12%, aire acondicionado 9% y plancha 5% (CFE, 2014). La información vertida en este apartado resulta relevante, ya que permite dirigir el ahorro del gasto energético al interior de las edificaciones. En este caso, saber cómo y en dónde se está consumiendo la mayor energía eléctrica al interior de las construcciones permitiría hacer las adecuaciones necesarias para disminuir este gasto, por ejemplo: buscar la mejor ubicación de los aparatos de refrigeración para que estén en sitios ventilados y su gasto energético sea el mínimo; otra adecuación sería aprovechar la luz natural diurna para evitar encender focos de manera innecesaria; buscar la mejor orientación de la construcción para tener una buena ventilación en temporadas cálidas y en temporadas frías aprovechar el calor del sol y materiales térmicos para mantener espacios cálidos; así como la implementación de energías renovables como los sistemas fotovoltaicos y calentamiento solar del agua.

Finalmente, cabe mencionar que en México en el ámbito industrial, la producción de energía también cuenta con energías de bajo impacto para la generación de electricidad. Estas tecnologías son incluso

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

más antiguas que las que emplean la quema de combustibles fósiles, son las llamadas tecnologías limpias. Una de ellas es la hidroeléctrica, de la cual en México se tienen 80 centrales; otra es la geotermoeléctrica, la eoloelectrica y la solar fotovoltaica. Para 2014, alrededor del 18% de la energía eléctrica es producida a través de estas tecnologías limpias, y existe la prospectiva de que para 2026 sea del 35% (Sener, 2014). Otras tecnologías limpias que están surgiendo son las bioenergías (el biogás y la descomposición orgánica) y las energías oceánicas (energía mareomotriz). En este sentido, cabe destacar que el territorio mexicano tiene condiciones geográficas idóneas para el desarrollo de este conjunto de técnicas; sin embargo, se carece de la tecnología necesaria y el recurso económico para su implementación.

MANEJO SUSTENTABLE DEL TRANSPORTE Y MOVILIDAD EN LAS CIUDADES

La movilidad en las grandes ciudades es un tema prioritario. Con el incremento en el parque vehicular motorizado, las emisiones de GEI, principalmente de CO_{2e}, también han aumentado. Con una mayor cantidad de vehículos, es común que las calles y avenidas de las ciudades presenten congestión vehicular constantemente; esto a su vez conlleva a que los traslados sean extremadamente mayores, un incremento en los costos económicos y un impacto al presupuesto familiar; por su parte, los viajes a pie y en bicicleta no tienen la infraestructura ideal, lo que los hace riesgosos para los usuarios (ONU-Hábitat, 2014). Veamos a continuación algunos datos importantes.

El sector del transporte se encuentra ubicado dentro de la industria energética. Para 2010 la contribución de las emisiones de GEI de este sector fueron de 22.2% (INECC y Semarnat, 2012), de las cuales, 21.01% corresponde al autotransporte; el resto, a la aviación, navegación y ferrocarril. El combustible principal es la gasolina que aporta 69.2% de las emisiones, le sigue el diésel con 26.1% de emisiones, los querosenos con 2.9% y el gas LP con 1.6%, finalmente se encuentra el gas natural y combustóleo con un 0.2%. Las principales emisiones de este sector son de bióxido de carbono y una pequeña proporción de óxido nitroso (INECC y Semarnat, 2012).

Para 2012, en México el parque vehicular fue de 35 millones de unidades. El índice de motorización llegó a 300 vehículos por cada 1 000 habitantes y una tasa de ocupación promedio por auto de 1.2 personas. Esto quiere decir que para desplazar a 35 personas se ocupan alrededor de 33 vehículos. Cabe destacar que más del 60% del parque vehicular, se encuentra en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), lo que ocasiona congestionamientos viales en las principales arterias de estos centros urbanos. Esta aglomeración vehicular conlleva a un deterioro de la calidad del aire y por ende de la salud de la población, ya que el sector

transporte contribuye con 20.4% de la emisión de GEI, de los cuales 16.2% proviene del subsector automotor, en su mayoría por viajes en transporte individual motorizado (ONU-Hábitat, 2014).

El automóvil es el medio de transporte con mayores emisiones de gases contaminantes por viajero transportado. Esto quiere decir que este transporte resulta el medio menos eficiente y que cualquier viaje realizado en transporte público representará emisiones de CO₂ inferiores que si se realizan en coche. Así entre más desocupado vaya el vehículo, más ineficiente será.

En México, la principal iniciativa del gobierno de la Ciudad de México, emitida para frenar la emisión de GEI y con ello mejorar la calidad del aire, ha sido el programa Hoy no Circula que opera desde finales de los ochenta. Con este programa, los vehículos matriculados en la Ciudad de México contienen una serie de restricciones para circular normalmente, incluso los vehículos foráneos tienen limitaciones para ingresar a la zona demarcada en ciertos días y horarios. Otra iniciativa que ha ido muy de la mano con la anterior fue la verificación vehicular, la cual incluso se aplica en la mayoría de los estados de la República Mexicana. El principal objetivo es verificar que los vehículos automotores no rebasen los límites máximos permisibles de emisiones establecidas en la Norma Oficial Mexicana en Materia de Emisiones de Fuentes Móviles publicada en el *Diario Oficial de la Federación* y regulada por la Semarnat.

Iniciativas como las que mencionamos anteriormente (Hoy no Circula y la verificación vehicular) son importantes porque han contribuido enormemente a mejorar la calidad del aire y por supuesto minimizar la huella de carbono en las grandes ciudades; sin embargo, es necesario darles a los habitantes nuevas opciones de movilidad. Al respecto, se requiere planear ciudades para caminar o trasladarse en unidades de pequeñas dimensiones como es el caso de las bicicletas y motocicletas, asimismo asegurar una conectividad urbana para largas distancias que incluyan transporte de grandes dimensiones y bajo consumo de combustible. Con ello, los vehículos motorizados podrían ser más eficientes y se reduciría la emisión de GEI.

MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LAS CIUDADES

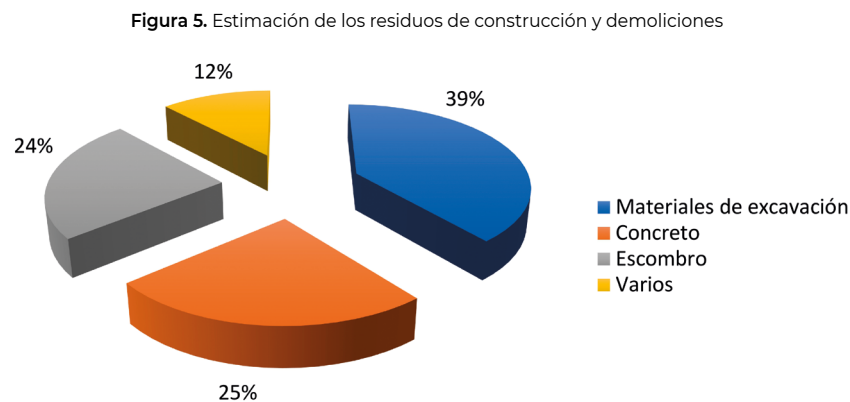
A manera de reflexión respecto a la generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU), de acuerdo a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD por sus siglas en inglés) en 2010 un habitante de Estados Unidos produjo en promedio 720 kg, mientras que uno de México 370 kg y un chino 250 kg (OECD, 2018); con estas cifras vemos como países desarrollados con un nivel de modernidad alto y densidad poblacional elevada son grandes consumidores y por ende grandes emisores de residuos.

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

Para el caso de México, se sabe que anualmente se producen 0.8 kg de RSU por habitante por día, de los cuales 40% corresponde a desechos inorgánicos que podrían ser reutilizables, dentro de los que destacan: el plástico, papel, cartón, vidrio, metales. Por su parte, los residuos orgánicos alcanzan 38%, de los cuales los residuos alimenticios son mayoría, le siguen los residuos de jardín, madera, entre otros. El resto (22%) corresponde a pañales desechables y residuos finos, por mencionar algunos. Como puede resultar obvio, las entidades con mayor generación de RSU son el Estado de México, la Ciudad de México y Jalisco (entidades que tienen una economía con mayor movimiento y concentran las mayores densidades de población en México) (INECC y Semarnat, 2012).

Estas cifras cada vez son mayores, la generación de RSU aumenta conforme crecen las ciudades, la industria y con la adopción de nuevos hábitos de consumo. Este crecimiento urbano e industrial implica la construcción de nuevos edificios y por tanto el consumo de los materiales necesarios para su levantamiento. Con ello surge la generación de los residuos especiales; es el caso de los desechos de construcción y los de demoliciones (RCD). Estos residuos representan en promedio 17.5%. Para 2011, se tradujo como una generación anual estimada de 6 millones de toneladas anuales, lo que significó aproximadamente 17 000 toneladas diarias (CMIC, 2011).

Los principales materiales que se encuentran en los RCD son materiales de excavación con 39%, concreto con 25%, escombros (elementos mezclados, prefabricados y pétreos) con 24% y finalmente los diversos con 12%; dentro de los que destacan la madera, cerámica, plástico, metales, lámina, vidrio, papel y cartón, y residuos orgánicos como hojas, ramas, troncos y raíces (figura 5).



Fuente: Datos tomados de la CMIC, 2011.

Uno de los principales problemas de los residuos en general es su disposición final, ya que al no darles un manejo adecuado representan un foco de contaminación ambiental que provoca la concentración y liberación de grandes cantidades de GEI. Es el caso de la quema a cielo abierto de residuos como plásticos de todo tipo, papel, llantas y madera, por mencionar algunos. Otro ejemplo es el manejo inadecuado de residuos orgánicos, pues la acumulación de estos desechos incluyendo los residuos agrícolas, en su fermentación natural, emiten grandes cantidades de GEI principalmente metano.

Para el caso de los RSU, el destino que se les da en México es en tiraderos a cielo abierto sin ningún tipo de regulación, lo que propicia graves consecuencias a la salud y por supuesto al ambiente. En 2009, existían en el país 161 rellenos sanitarios diseñados adecuadamente; en la Ciudad de México, por ejemplo, sólo existía uno de ellos, y 10 más en el Estado de México. Sin embargo, esta cantidad de rellenos es insuficiente para la extrema demanda de residuos, por lo que existen diversos tiraderos a cielo abierto improvisados en donde se destina un gran porcentaje de ellos. Para disminuir la producción de RSU, la acción principal de cada individuo es no consumir de manera desmedida y así evitar desechar los empaques de mercancía (para el caso de residuos inorgánicos).

A gran escala, las ciudades deben mejorar sus programas de recolección de residuos y acatar la normatividad existente para el manejo adecuado. En México, se promulgó la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), con la que se definieron los residuos peligrosos, residuos especiales y los residuos sólidos urbanos; así como las competencias para su regulación en los ámbitos federal, estatal y municipal. Es necesario que en cada nivel se tome conciencia y se destinen los presupuestos suficientes, para que se lleven a cabo las acciones que permitan dar un buen manejo a los desechos de las ciudades, pues con estas actividades se mitigará en gran medida la huella de carbono.

En cuanto a los RCD, si bien algunas entidades de la República Mexicana han implementado acciones que incluyen recolección y transporte de los residuos y posteriormente traslado a lugares de disposición final, lo cierto es que aún son pocas las entidades que realizan estas operaciones. La mayor parte de los RCD generados en obras a pequeña escala son recogidos por vehículos privados: 5%, por los recolectores públicos que les dan manejo de RSU, finalmente 10% aproximadamente de los RCD se disponen en suelos de conservación o en la vía pública, lo que además de la contaminación ambiental también provoca contaminación visual y constituye una molestia para la vialidad (CMIC, 2011).



III. Adaptación ante el cambio climático derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico¹

REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES Y DE LA HUELLA DE CARBONO

Dos temas trataremos en este capítulo: en primer lugar, la reducción de los impactos ambientales, principalmente por efectos de energía y aprovechamiento de recursos durante la etapa de uso, operación y mantenimiento, lo cual es esencialmente la vida útil de los activos construidos, es decir, de la infraestructura y equipamiento urbano; en segundo lugar, la reducción de la huella de carbono de los materiales constructivos, con los cuales están edificadas las ciudades (Lockie y Berebecky, 2012). Se define el concepto *huella de carbono de los materiales* como todos los gases de efecto invernadero que son equivalentes a las emisiones de CO₂ y que fueron emitidos a la atmósfera para producir un material o cualquier producto, desde su etapa de extracción de sus materias primas, transporte a la fábrica, manufactura y de nuevo transporte al sitio de construcción, es decir, *de la cuna a la puerta*.

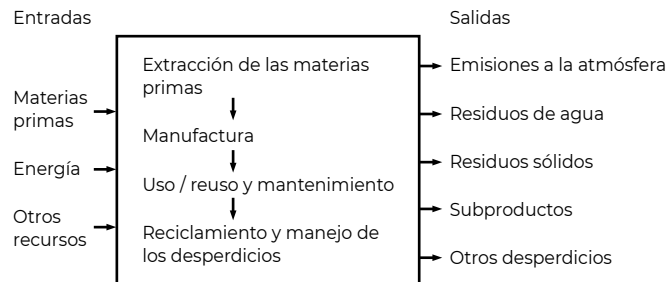
¹ Para ampliar este capítulo, consúltese el glosario que se encuentra al final de este libro.

**Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico**

Otro periodo del ciclo de vida de los materiales puede ser *de la cuna al sitio de construcción* y en este caso se contabilizan las emisiones de CO₂ generadas desde la extracción de las materias primas, pasando también por la manufactura y hasta el lugar donde se construye la obra; *en de la cuna a la terminación de la construcción* se contabilizan las emisiones desde su extracción y hasta finalizar los procesos de construcción, es decir, hasta que se entrega la obra; asimismo *de la cuna a la tumba* significa que las emisiones generadas se contabilizan desde la extracción de las materias primas, manufactura, fin de la construcción, uso, mantenimiento y operación del inmueble y hasta etapas como remodelaciones, demoliciones, tratamiento de desperdicios y hasta la disposición final de los residuos y desechos del edificio (también se le conoce como *el ciclo de vida del carbono en los materiales*). Existe otro concepto similar al anterior, es *el de la cuna a la cuna* que es prácticamente todo el ciclo hasta volverlo a convertir en un nuevo producto o material de características similares o iguales (por ejemplo, la fabricación del aluminio y su reciclamiento).

En materia de medio ambiente, existen una serie de normas ISO 14000 que tratan sobre la gestión ambiental de todos los procesos de producción y es muy útil para las empresas e instituciones que quieran adoptar políticas para la protección del medio ambiente. En lo referente al tema de reducción de huella de carbono por materiales y procesos, la norma ISO 14040 referente a la Evaluación por Ciclo de Vida (ECV), la cual es una metodología que ayuda directamente en los procesos de reducción y mitigación de impactos ambientales, entre ellos, las emisiones de carbono. En particular esta metodología se resume en la figura 6, en donde se observa que durante el ciclo de vida de un producto siempre hay entradas de materias primas, energía e insumos y salidas de desperdicios, emisiones y desechos, los cuales siempre contaminan y cuyas cantidades pueden ser cuantificadas.

Figura 6. Entradas y salidas durante el ciclo de vida de un producto según la norma ISO 14040 (iso, 1997)



Dibujo: Silverio Hernández Moreno

Las emisiones de CO₂ equivalentes se puede ejemplificar en que 1 kg de metano equivale a 25 kg de CO₂, por tanto, 1 kg de metano= 25 kg CO₂ e. La tabla 10 presenta algunos ejemplos de gases de efecto invernadero y su CO₂ e.

Tabla 10. Potenciales de calentamiento global de algunos gases de efecto invernadero y su CO₂ e

Gas de efecto invernadero	Potencial de Calentamiento Global (CO ₂ e)	Origen
Bióxido de Carbono (CO ₂)	1	Combustión de energía, reacciones bioquímicas
Metano (CH ₄)	25	Descomposición
Óxido nitroso (N ₂ O)	298	Fertilizantes, emisiones de automóviles, manufactura de productos
Hexafluoruro de sulfuro (SF ₆)	22 800	Subestaciones eléctricas, engranajes de interruptores
Per-fluoro-carbonos (PFC)	7 390-12 200	Fundición del aluminio
Cloro-fluoro-carbonos CFC 12 (CCl ₂ F ₂)	10 600	
Halón 1301 (CF ₃ Br)	6 900	
Óxido nitroso (N ₂ O)	296	
Tetra-fluoruro de carbono (CF ₄)	5 700	
Hidrofluorocarbonos (HFC)	124-14 800	Refrigerantes y gases industriales

Fuentes: Lockie y Berebecky, 2012; Environmental Protection Agency, 2012.

La cantidad de carbón contenido en los materiales es de todas aquellas emisiones de carbono a la atmósfera, las cuales se asocian con el consumo de la energía y de procesos químicos durante todo el ciclo de vida de los materiales o productos, expresado en kg de CO₂ e por kg de material.

Otro concepto importante es el *carbono operacional*, el cual se refiere a las emisiones de carbono que se generan durante la vida útil de las edificaciones, es decir, en la fase de uso, mantenimiento y opera-

bilidad de los inmuebles. Estas emisiones de carbono derivadas de la energía sirven para hacer funcionar al edificio, tales como iluminación artificial, aire acondicionado y calefacción, calentamiento de agua, refrigeración, uso de aparatos y equipos eléctricos o electrónicos en el edificio. De hecho, ésta es la etapa del ciclo de vida de los edificios que más impacta al inmueble, y de ahí la importancia de estimar la vida útil de los componentes constructivos y sus partes (Hernández, 2015b) para poder hacer el cálculo de la huella de carbono. Por tanto, el Potencial de Calentamiento Global (pcc) es una medida relativa de qué cantidad de gas de efecto invernadero se tiene estimada y que contribuye al calentamiento total de la atmósfera terrestre medida en CO₂ e. Otro concepto que se considera importante para entender el cálculo de la huella del carbono en los materiales es el *contenido reciclado de un producto*, éste se define como una porción de un producto que contiene materiales que han sido recuperados (derivados de desechos sólidos) e integrados a los procesos de manufactura de dicho producto nuevo.

El estudio de la huella de carbono en edificación es un campo relativamente nuevo y aún muchas cuestiones están aún en desarrollo y experimentación. En México existen pocos datos que puedan servir como información práctica y estadística al respecto, por lo que muchas veces si queremos experimentar o incluso hacer simulaciones de análisis de ciclo de vida de materiales y edificios y sus partes, tenemos que echar mano de *software* e investigaciones que llegan de otros países e incluso de información estadística extranjera, pues ésta es muy útil para dichos análisis; pero que debemos adaptar con cuidado al contexto mexicano para no cometer errores en los cálculos. Estos *software* y herramientas (tabla 11) son muy útiles como metodologías y modelos que podemos aplicar en México, pero no son determinantes para estudios y casos particulares por la manera de diseñar y construir en nuestro país, porque en México tenemos materiales y sistemas constructivos muy particulares.

Tabla 11. Herramientas de *software* para Evaluación por Ciclo de Vida (ECV)

Herramienta	Descripción
BEES® 3.0	Evaluación de productos para la construcción.
Boustead Model® 5.0	Analiza recursos como energía, materias primas y otros insumos de varios productos en la industria en general.
CMLCA® 4.2	Auxilia en la ejecución del procedimiento del Acv en distintos procesos y para diversas industrias.

III. Adaptación ante el cambio climático derivado de las emisiones de gases...

Dubo-Cal®	Para realización de inventarios de materiales de construcción y obra civil.
Ecoinvent™ 1.2	Evalúa impactos ambientales y la huella ecológica de numerosos materiales para distintas industrias.
Eco-Quantum™	Evalúa información cuantitativa de materiales para la construcción de 1000 productos para el sector.
Edip PC-tool®	Detalla información de procesos y materiales en lo referente a su ciclo de vida de diversos productos industriales.
EIOLCA.NET®	Es una página web que permite al usuario estimar algunos impactos sobre algunos productos, materiales y servicios de algunas industrias.
Environmental Impact Indicator™	Este software fue preparado para arquitectos, ingenieros e investigadores para conseguir información sobre ACV de productos de materiales constructivos para edificios nuevos o existentes.
Gabi® 4	Es un programa para evaluar el ACV, impactos ambientales, costos por ciclo de vida y aspectos de responsabilidad social de productos, procesos y tecnologías.
GEMIS®	Evalúa el ciclo de vida de energía, materiales y sistemas de transporte. Ofrece información sobre energías renovables y fósiles y su intervención en los sistemas de transporte.
REET® 1.7	Se enfoca básicamente en la evaluación por ciclo de vida de los combustibles destinados a la producción y uso de energía.
KCL-ECO®4.0	Evalúa el cv de sistemas complejos que incluye caracterización, normalización y aplicaciones; el sistema cuenta con características gráficas.
LCAIT™ 4.1	Incluye información en su base de datos para la evaluación de impactos ambientales incluyendo factores de caracterización y aplicación.
Lcapix™ 1.1	Es un programa usado para evaluar la factibilidad ambiental de productos, procesos y servicios, basado en el análisis de costos e impacto ambiental de cada producto.
MIET® 3.0	Utilizado para generar inventarios mediante hojas de Microsoft Excel® relacionados con ACV e impactos ambientales
SimaPro™ 6.0	Herramienta de software que evalúa impactos ambientales a través de varios métodos y con distintas bases de datos de inventarios.
Umberto™	Es utilizado para evaluar los impactos ambientales principalmente en materia prima y energía utilizada en los productos.

Fuente: Hernández, 2012.

MARCO NORMATIVO

En materia de normatividad en México referente al tema de impacto ambiental, en primera instancia, destacamos la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), emitida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat); en su sección de impacto ambiental, artículo 28, menciona que tanto obras como actividades que modifiquen el ambiente deben ser evaluadas para que sean autorizadas, mediante estudios de impacto ambiental. Esto es muy importante porque ordena los planes territoriales en las ciudades y establece los mecanismos para su regulación. Al respecto se menciona:

La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el medio ambiente (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

Por su parte, el reglamento de la LGEEPA refiere:

Determinará las obras o actividades a que se refiere su artículo 28, que por su ubicación, dimensiones, características o alcances no produzcan impactos ambientales significativos, no causen o puedan causar desequilibrios ecológicos, ni rebasen los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas referidas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, y que por lo tanto no deban sujetarse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental previsto en el ordenamiento (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

El artículo 29 de la LGEEPA menciona que los efectos negativos que sobre el ambiente, los recursos naturales, la flora y la fauna silvestre y demás recursos a que se refiere esta Ley, pudieran causar las obras o actividades de competencia federal que no requieran someterse al procedimiento de evaluación de impacto ambiental a que se refiere la presente sección, estarán sujetas en lo conducente a las disposiciones de la misma, sus reglamentos, las normas oficiales mexicanas en materia ambiental, la legislación sobre recursos naturales que resulte aplicable, así como a través de los permisos, licencias, autorizaciones y concesiones que conforme a dicha normatividad se requiera (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

Esto quiere decir que toda obra o actividad que modifique el ambiente en las ciudades y asentamientos humanos será realizada con regulaciones que controlen su planeación y por tanto su ordenamiento tanto urbano como ecológico.

De la misma forma destacamos el acuerdo referente a la Estrategia Nacional de Cambio Climático (3 de junio de 2013) emitida también por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales como:

Un instrumento rector de la política nacional en el mediano y largo plazos para enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono, elaborada por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, con la participación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y la opinión del Consejo de Cambio Climático; aprobada por la Comisión Intersecretarial de Cambio Climático y publicada en el *Diario Oficial de la Federación (DOF)*, 2013).

Este acuerdo se hizo con el fin de apegarse al *Plan Nacional de Desarrollo*, que toma como eje rector a la sustentabilidad, lo cual es muy apropiado para que en cualquier punto del territorio nacional se reduzcan, mitiguen y eviten grandes cantidades de emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente las de CO₂. Los objetivos de este acuerdo son básicamente los siguientes:

1. La estrategia se encuentra en una visión a largo plazo (en una ruta a 10, 20 y 40 años), pero eso no quiere decir que no empecemos a actuar desde ahora.
2. Promueve el manejo sustentable y equitativo de los recursos naturales (bosques, agua, suelo, aire) en los tres órdenes de gobierno.
3. Fomenta el uso de energías limpias y renovables que permitan un desarrollo con bajas emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero.
4. México debe convertirse en un país próspero, competitivo, socialmente incluyente y con responsabilidad global que genere empleos suficientes y bien remunerados para toda su población, en particular para la más vulnerable.
5. Propone una nación socialmente equitativa, con una economía verde, con ecosistemas y poblaciones resilientes al cambio climático y con ciudades sustentables.
6. Contar con políticas transversales, coordinadas y articuladas; desarrollar políticas fiscales e instrumentos económicos y financieros con enfoque climático; fomentar la investigación; promover una cultura climática en la sociedad; instrumentar mecanismos de medición, reporte y verificación, así como monitoreo y evaluación; y fortalecer la cooperación internacional.

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

7. El cumplimiento de los objetivos de mitigación de reducir 30% de emisiones respecto a la línea base en 2020 y 50% en 2050 en relación con las emisiones del año 2000 requiere transformaciones estructurales en el modelo de desarrollo del país. En el *Diario Oficial de la Federación* se puede leer:

México convertirá el gran desafío que representa el cambio climático en la gran oportunidad para conservar y usar sustentablemente el capital natural, aprovechar el potencial enorme para desarrollar energías limpias, corregir ineficiencias en el uso de la energía, generar empleos con una economía verde, promover el desarrollo territorial sustentable, incrementar la competitividad y mejorar la salud pública y la calidad de vida de la población (DOF, 2013).

Esto se efectuará por medio de:

- a) Transición hacia fuentes de energía limpia.
- b) Hacer más eficiente el consumo y la eficiencia energética.
- c) Transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono.
- d) Mejores prácticas agropecuarias y forestales para preservar e incrementar los sumideros naturales de carbono.
- e) Conservación de los ecosistemas y su biodiversidad.

En lo referente a la reducción y mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero en las ciudades, este libro se centra en los cinco incisos anteriores y propone un modelo de diseño ambiental en edificaciones, lo cual contribuiría en la reducción y mitigación del calentamiento global para la planeación y diseño de ciudades sustentables.

Por un lado, el punto siete del *Acuerdo sobre cambio climático* se enfoca en el desarrollo bajo en emisiones, y se resume en los siguientes puntos.

A corto plazo:

- Aprovechamiento de energías alternativas, por ejemplo: biogás, energía eólica y solar.
- Aumento de vehículos automotores nacionales híbridos y control de vehículos importados.
- Reducción de quema de leña, eficiencia en iluminación y refrigeración.

- Programas para el mejoramiento de la calidad del aire en las ciudades.
- Sustitución 30-50% de energías limpias.
- Reforestación y mayor captura de carbono.

A largo plazo:

- Uso del 100% de vehículos con energía limpia.
- Sustitución al 100% de energías limpias en todos los sectores.
- Uso del hidrogeno como principal fuente de energía.

Por otro lado, es importante mencionar que de 1990 a 2010 aumentaron las emisiones de gases de efecto invernadero en México en 33% (INECC, 2010) por lo que en la actualidad, se sigue observando una tendencia a la alta, y pese a que existe una mejora en la ley ambiental incluido el acuerdo de Estrategia Nacional para el Cambio Climático, aún no se han podido observar mejoras palpables y medibles, debido a la falta de voluntades políticas de los gobiernos actuales, y lo alarmante del caso es que dentro de los objetivos de este acuerdo (Estrategia Nacional de Cambio Climático) era reducir en 30% las emisiones de carbono para 2020, objetivo que parece en este momento ya inalcanzable. Y es que todos estos acuerdos y leyes parecen estar bien escritos y con las mejores intenciones, pero al momento de querer implementarse, los gobiernos responsables se encuentran con diversos obstáculos desde la falta de políticas públicas para tales efectos hasta la carencia de planes y programas concretos, específicamente en el desarrollo de la ciencia y tecnología en México, que es la actividad que daría mejores soluciones al problema, pero desafortunadamente ha quedado también olvidada, caso parecido del problema de desarrollo en la extracción, producción y gestión del petróleo que lejos de generar nuestros propios conocimientos científicos y tecnológicos para su explotación, abrimos las puertas a extranjeros para que vengan a hacer lo que nosotros debemos realizar. Por tanto, se corre el riesgo de que el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático se quede al margen de los problemas que enfrente tal y como el Instituto del Petróleo respecto a los recursos de los hidrocarburos.

Respecto a los impactos ambientales causados en las ciudades también es relevante mencionar que dos de los sectores que más emisiones presentan son el residencial con 19% del total y el transporte con 10%, lo que incide directamente en la parte de las ciudades y áreas urbanas, materia del presente libro (INECC, 2013). Para asumir algunas responsabilidades, arquitectos, urbanistas, constructores y desarrolladores inmobiliarios deben adoptar y adaptar modelos y metodologías del orden ambiental en sus procesos de diseño, planea-

**Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico**

ción y edificación para cubrir gran parte de las soluciones hacia el problema del aumento del calentamiento global por efectos de emisiones de carbono a la atmósfera. El siguiente apartado analiza estas soluciones a manera de estrategias, acciones y recomendaciones para la reducción y adaptación de las ciudades al cambio climático, pues parte del marco normativo ya referido.

En particular y haciendo referencia a la reducción de la huella de carbono en las edificaciones hay una norma internacional ISO/TS 14067:2013 (Greenhouse gases-Carbon footprint of products-Requirements and guidelines for quantification and communication) destinada a describir un método para el cálculo de las emisiones de carbono en los materiales. Esta norma puede ser de gran ayuda para arquitectos, ingenieros, constructores, productores de materiales y productos para la construcción y desarrolladores inmobiliarios para realizar estudios que permitan tomar decisiones durante la elección de materiales, sistemas constructivos y la manera en cómo diseñar los espacios y las instalaciones y servicios de los edificios e infraestructura urbana.

ESTRATEGIAS Y ACCIONES HACIA LA REDUCCIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS CIUDADES MEXICANAS. ENFOQUE URBANO-ARQUITECTÓNICO

La LGEEPA menciona que tanto obras como actividades que modifiquen el ambiente deben ser evaluadas para que sean autorizadas, mediante estudios de impacto ambiental. Técnicamente estos estudios están regulados por una norma técnica, la cual establece los siguientes puntos para la presentación del estudio ante la Semarnat:

La elaboración de un estudio de impacto ambiental, en términos generales, se constituye por un conjunto de etapas y tareas, que genéricamente se concretan en los siguientes rubros (Semarnat, 2015):

1. *Descripción del proyecto o actividad:* en esta etapa se analiza y se describe al proyecto o a la actividad, destacando, desde el enfoque ambiental, sus principales atributos y sus debilidades más evidentes.
2. *Desglose del proyecto o actividad en sus partes elementales:* esta tarea debe realizarse de manera uniforme y sistemática para cada una de las cuatro fases convencionalmente aceptadas: preparación del sitio, construcción, operación y abandono del proyecto. Deberá hacerse una prospección de las actividades relacionadas al proyecto y de aquellas otras que serán inducidas por él, siempre con el objetivo de identificar los impactos al ambiente.
3. *Descripción del estado que caracteriza al ambiente, previo al establecimiento del proyecto:* descripción del medio físico en sus elementos bióticos y abióticos, en un ámbito extenso y sustentado

tanto en evidencias reportadas en la literatura especializada como en observaciones directas en campo. En esta etapa, se incluye el estudio del medio social y económico de la zona donde se establecerá el proyecto o donde se desarrollará la actividad.

4. *Elementos más significativos del ambiente*: este apartado resume la información que permite determinar el significado que tienen los elementos más relevantes del ambiente, previamente analizados, para su conservación. Habrán de definirse y aplicarse los criterios acordes a la magnitud de la importancia del ambiente, tales como diversidad, rareza, perturbación o singularidad, la valoración que se haga de cada rubro deberá tener un enfoque integral.
5. *Ámbito de aplicación del Estudio de Impacto Ambiental*: el ámbito de aplicación del Estudio definirá el alcance que tendrá éste, para cada uno de los elementos anteriormente descritos. Su incidencia o no con áreas naturales protegidas o con planes parciales de desarrollo urbano o del territorio, así como el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas vigentes.
6. *Identificación de impactos*: con esta etapa, el estudio alcanza una de sus fases más importantes, se trata de definir las repercusiones que tendrá el proyecto o la actividad a realizar sobre el ambiente descrito y sobre sus elementos más significativos. Cada impacto deberá ser valorado sobre una base lógica, medible y fácilmente identificable. Posteriormente, el análisis debe llegar a una sinergia que permita identificar, valorar y medir el efecto acumulativo del total de los impactos identificados.
7. *Alternativas*: si fuese el caso de que hubiese dos o más alternativas para el proyecto o para la actividad, éstas serán analizadas, valoradas sobre la base de su significado ambiental y seleccionada la que mejor se ajuste tanto a las necesidades del mantenimiento del equilibrio ambiental, como a los objetivos, características y necesidades del proyecto.
8. *Identificación de medidas de mitigación*: la importancia de esta etapa debe ser evidenciada en el reporte final con la propuesta de medidas lógicas y viables en su aplicación.
9. *Valoración de impactos residuales*: se aplica este concepto a la identificación de aquellas situaciones, negativas para el ambiente, que pueden derivar de una falta de previsión o de intervención del hombre y que pudieran derivar de la puesta en operación del proyecto.
10. *Plan de vigilancia y control*: en esta etapa el estudio deberá definir los impactos que serán considerados en el plan de seguimiento y control; determinar los parámetros a evaluar, los indicadores que habrán de demostrar la eficiencia del plan, la frecuencia de las actividades, los sitios y las características del muestreo (Semarnat, 2015).

**Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico**

El manifiesto del impacto ambiental asegura, en la mayoría de los casos, que las modificaciones al medio ambiente no causarán daños irreversibles ni impactos ambientales nocivos de tipo significativo al sitio del proyecto. Los estudios de impacto ambiental coadyuvan en el ordenamiento del territorio nacional y de los planes de desarrollo urbano de las localidades o regiones de las cuales están conferidos. También es un documento legal para el desarrollo de proyectos que ponen en riesgo al medio ambiente, incluyendo sus recursos bióticos, abióticos, paisaje, medio sociocultural y todo lo que en él se contenga. De esta manera, las ciudades se construyen en un ambiente natural y, por tanto, requerirán de una buena planeación tanto en materia ambiental como urbana-arquitectónica.

DECÁLOGO CON ENFOQUE URBANO-ARQUITECTÓNICO

Basándonos en la Ley General de Cambio Climático y en el Acuerdo para la Estrategia Nacional de Cambio Climático, también ya referida en páginas atrás, proponemos las siguientes acciones y estrategias que pueden ayudar específicamente en la reducción y mitigación de las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a las ciudades en México a manera de decálogo y desde un enfoque urbano-arquitectónico:

1. Conservación de la biodiversidad del lugar, incluyendo la conservación de los recursos no solamente bióticos (flora y fauna), sino también abióticos (clima, topografía, suelo, cuerpos de agua, atmósfera) y del paisaje.
2. Respeto y mejoramiento del uso de suelo y de los planes urbanos regionales y locales. Se refiere a que partiendo de los planes de desarrollo urbano locales y regionales se puedan integrar a dichos planes las estrategias sobre cambio climático para coadyuvar en la disminución de impactos ambientales nocivos, específicamente por emisiones de carbono a la atmósfera. Se ha confirmado que el cambio de uso de suelo, generalmente de vocación forestal a habitacional o comercial, es muy dañina para el medio ambiente, causando desequilibrio; aunado con el uso de combustibles fósiles, está provocando severo aumento en el calentamiento global (Cheung y Jor, 2013) y destruye el ciclo climático natural, así como las recargas naturales de agua, provocando casi siempre erosión y daño a los ecosistemas.
3. Planeación urbana sustentable y diseño arquitectónico sustentable, que debe incluir: manejo sustentable del sitio, manejo sustentable de los recursos del agua, manejo sustentable de la energía (tanto pasiva como activa), manejo sustentable de materiales y desperdicios de la construcción y confort al interior y exterior de los edificios (Hernández, 2010).

4. Manejo sustentable de parques y jardines en las ciudades, incluyendo reforestación y captura de carbono. Como todos sabemos, las áreas verdes capturan carbono y es muy importante que en las ciudades se disponga de áreas verdes no solamente para capturar carbono, sino también para mejorar el confort térmico en el ambiente y recargar los mantos acuíferos disponibles (Wilcox, 2012).
5. Manejo sustentable del transporte y la movilidad en las ciudades. Referente a la gestión y planeación sustentable de la infraestructura de transporte en las ciudades principalmente estableciendo esquemas de transporte alternativo como bicicleta, motocicleta y transporte público que incluyan camiones, trenes y otros vehículos que utilicen energías limpias y libres de carbono; aminorando el uso de vehículos particulares y aumentando la peatonalización en las ciudades (Thomas *et al.*, 2014). En las ciudades mexicanas, como en otros países del mundo, la relativa facilidad que ofrece el mercado de vehículos automotores está generando sobredensidad de unidades en las ciudades, por lo que la mayoría de las ciudades no cubren la infraestructura necesaria para dichas flotillas. Por tal motivo se realizan esfuerzos como los programas de Hoy no Circula que mitigan en un mínimo dicha problemática. Las soluciones que se deben acrecentar en México son principalmente: a) incorporar a las flotillas vehículos de baja emisión basados en combustibles limpios o motores ahorradores; b) uso de combustibles ecológicos, principalmente electricidad para trenes y buses (producida de plantas hidroeléctricas); c) aumento y mejoramiento del transporte público; d) peatonalización y uso bicicletas; e) mejoramiento de la infraestructura urbana para la mejor movilización de bicicletas, motocicletas, peatonalización y transporte público (Hickman, Saxena y Banister, 2008); f) disminución de los costos de transporte, principalmente de la gasolina y diésel.
6. Infraestructura y equipamiento sustentable a través del diseño y planeación urbana. Referente al mejoramiento de la infraestructura y equipamiento de las ciudades a través de su diseño y planeación, caso específico de la densificación de las ciudades, lo cual ayudaría en la eficiencia de la infraestructura e instalaciones requeridas por m³ (Welzig y Steixner, 2012), más el diseño sustentable del mismo (Hernández, 2010).
7. Manejo integral de residuos, incluyendo los de la industria de la construcción. Es muy importante que los municipios junto con los encargados de las obras de construcción se hagan responsables al 100% de los desechos de construcción generados en las ciudades. El ayuntamiento tendrá la obligación no solamente de la administración de los desechos municipales, sino también establecer esquemas para el reciclamiento municipal de residuos de la construcción. Por ejemplo un estudio realizado en Japón muestra que una de las formas en que mejor podemos reducir las

emisiones de carbono por la industria de la construcción está en la disminución de los materiales constructivos, específicamente la reducción del acero, el aluminio, la cal y el cemento en los edificios, sustituyendo en algunos casos, ceniza volante de desperdicio de alto horno en lugar de cemento y cal para la elaboración de algunos morteros y concretos en donde no se requieran resistencias mecánicas elevadas (Dong *et al.*, 2014).

8. Planeación de la durabilidad y vida útil de los componentes de las ciudades. Es muy importante para la realización de inventarios por ciclo de vida de productos el estudio de su durabilidad y vida útil, para poder estimar cuantitativamente los impactos ambientales que de ello se desprende. Caso específico de la Evaluación por Ciclo de Vida (ECV) de productos de la construcción que están generando una determinada cantidad de carbono a la atmósfera y otros impactos al ambiente. También es importante diseñar por durabilidad los componentes constructivos con la finalidad de que cumplan con la vida útil esperada y sobre todo para disminuir los costos de mantenimiento y remplazos (Hernández, 2015a).
9. Conservación de suelo, aire y agua. Todas estas acciones van encaminadas a la protección del suelo, aire y agua, que es en donde se ven afectados todos los recursos bióticos y abióticos con los que contamos (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).
10. Prevención y mitigación de riesgos en las ciudades. Este punto es de vital importancia para establecer mecanismos que protejan al ser humano de posibles inundaciones, sismos, huracanes, causadas principalmente por efectos globales en el clima (Harlan y Ruddell, 2011; Li *et al.*, 2011).

Asimismo y con el fin de reducir la huella de carbono, existen en el mundo diversos modelos de diseño ambiental para edificios y ciudades, tales como el modelo estadounidense Leadership in Energy and Environmental Design (LEED®) (United States Green Building Council, 2014), el cual se utiliza para la certificación de edificios ambientales en Estados Unidos. Esta metodología es muy exitosa y reconocida en el mundo para incrementar la eficiencia ambiental de los edificios (Obata, Agostinho, Almeida & Giannetti, 2019; Rasha & Alshimaa, 2017; Suzer, 2015; Dekkiche & Taileb, 2016; Zou, 2019).

Pero LEED® no es del todo aplicable tal y como está en México, en el sentido de que aquí se utilizan otros sistemas y materiales de construcción, y la planeación urbana, específicamente diseño y planeación de infraestructura y equipamiento, a veces no se ajusta a los modelos extranjeros; por lo que la tarea de los urbanistas y arquitectos mexicanos es adoptar y adaptar estos modelos y métodos al contexto mexicano (los cuales sí son muy útiles, pero con determinadas modificaciones), caso específico del presente decálogo, el cual se desarrollará y detallará en el capítulo 4 referente a “Modelos para el Diseño ambiental de edificios y

planeación sustentable de ciudades ante el cambio climático” como un modelo ambiental en edificaciones. Existen otros modelos como el europeo BREEAM® (Building Research Establishment, 2015), también hay modelos árabes y japoneses basados en los mismos rubros de diseño ambiental de los que presenta LEED® o BREEAM ® (sitio, agua, energía, materiales, desechos, transporte, calidad del aire, innovación tecnológica, por citar los rubros más importantes).

El gobierno del Distrito Federal (hoy Ciudad de México), por medio de su Secretaría del Medio Ambiente, emitió en 2008 en la *Gaceta Oficial* un programa de certificación de edificaciones sustentables, el cual está basado en los mismos modelos del párrafo anterior, y cuyo objetivo también es fomentar el uso eficiente de los recursos naturales y reducir la carga ambiental, así como disminuir los impactos ambientales generados por la industria de la construcción.



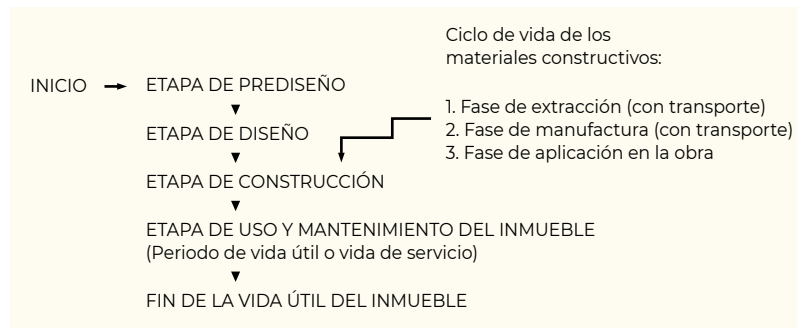
IV. Modelos para la planeación sustentable de ciudades ante el cambio climático

Desde el punto de vista urbano-arquitectónico en respuesta a este problema, han surgido diversos modelos de diseño ambiental de edificios en el mundo, tales como el método estadounidense Leadership in Energy and Environmental Design (LEED®) o el europeo Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM®) que constan de metodologías encaminadas a reducir los diversos impactos ambientales causados por los edificios, durante todo su ciclo de vida (figura 7), que se manifiestan principalmente en emisiones de CO₂ a la atmósfera propiciando calentamiento global y por consecuencia cambio climático; lo cual ya está generando diversas alteraciones y modificaciones al ambiente. Estas acciones están provocando desequilibrio ecológico junto con innumerables problemas de salud pública, seguridad y estabilidad de los ecosistemas y sus componentes, incluyendo al ser humano.

MODELOS AMBIENTALES

Cabe señalar que los mayores impactos ambientales y, por tanto, la mayor emisión de CO₂ se da en la etapa de uso, primera etapa, operación y mantenimiento de los inmuebles (figura 7), es decir, en la vida útil o vida de servicio del edificio, debido a que se requiere gran cantidad de energía y productos para operar el inmueble, tales como energía para iluminación, aire acondicionado, calefacción, calentamiento de agua, energía para electrodomésticos, refrigerantes para aire acondicionado. La segunda etapa del ciclo de vida que más contamina es la que respecta a la fabricación o manufactura de los materiales y productos de construcción, que pertenece propiamente a la segunda fase del ciclo de vida de los materiales (Lockie y Berebecky, 2012). La tercera etapa más contaminante sería la de construcción, la cual se estima sólo 1% del total de emisiones de CO₂ equivalentes. Esto es insuficiente en comparación del 83% de la etapa de uso y operación de los edificios y el 14% de la etapa de manufactura de los materiales (que incluye extracción, transporte, fabricación y puesta en obra); seguido de 1% de la distribución de productos, 0.5% de la fase de diseño y planeación y 0.5% de emisiones de CO₂ para la etapa final de fin de vida útil (remodelación, demolición y disposición final de residuos), según la misma fuente (Lockie y Berebecky, 2012). Esto puede variar dependiendo del tipo de edificio, clima y diseño arquitectónico; por ejemplo, hay edificios que no requieren de aire acondicionado ni calefacción, los cuales pueden llegar a disminuir hasta 70% la huella de carbono en la fase de vida útil del edificio (figura 7).

Figura 7. Ciclo de vida de los edificios



Elaboración propia con base en ISO, 1997.

Por tanto, urbanistas, arquitectos, constructores y desarrolladores inmobiliarios deben adoptar, adaptar y crear, si es posible, nuevos modelos y métodos que eviten o mitiguen estos daños al ambiente, que muchas veces son irreversibles. En el presente capítulo se presenta una propuesta ante el problema de cambio climático desde un enfoque urbano-arquitectónico basada en un modelo de diseño ambiental en edificios, el cual podría dar respuesta a la problemática que enfrenta el diseño y planeación de las ciudades ante el calentamiento global y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

MODELOS Y NORMATIVIDAD EN EDIFICACIÓN Y URBANISMO SUSTENTABLES

En esta sección del documento, se hace una revisión de los modelos y lineamientos existentes en materia de edificación y urbanismo sustentables (antes de presentar la propuesta), los cuales muchas veces se conocen como modelos o métodos de edificación ambiental, que parten de una serie de estrategias de diseño sustentable por rubro para poder llevar a cabo proyectos que reduzcan y mitiguen los distintos impactos ambientales causados por la edificación tanto en el ámbito urbano como arquitectónico desde la fase de planeación y diseño del proyecto, es decir, antes de la edificación para poder así evitar que se generen dichos impactos, y que durante la construcción y las fases de uso, operación y mantenimiento, se aminoren. Esto incluye la fase final o fin de la vida útil de los activos construidos (edificios).

Modelo LEED®

Es un modelo estadounidense, consta de un método de diseño ambiental de edificios que se está implementando en todo el mundo por su prestigio y flexibilidad. Además de servir como guía de diseño ambiental durante las fases de diseño, construcción y mantenimiento del inmueble, se utiliza para certificar edificios “verdes” con base en un puntaje establecido por su metodología y evaluado por especialistas certificados. Dentro de los objetivos del presente documento no incluye detallar leed® como método certificador, sino solamente describirlo como un modelo que puede ser de utilidad como guía de diseño y como un antecedente a la propuesta presentada en el siguiente capítulo, adecuándolo y adaptándolo al contexto mexicano como modelo-guía de diseño y planeación para la sustentabilidad de proyectos de edificación en México con enfoque arquitectónico. El método LEED® versión 14 se resume en los siguientes rubros de diseño y contiene, cada uno, una serie de estrategias de diseño que al ser consideradas en el proyecto aminoran notablemente los impactos ambientales causados en todo su ciclo de vida (United States Green Building Council, 2014):

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

1. Localización y transporte:
 - a) Localización y desarrollo por barrios y colonias (interconectividad y movilidad)
 - b) Protección al suelo sensible (de acuerdo con los planes de desarrollo)
 - c) Alta prioridad del sitio (por usos de suelo)
 - d) Densidad del sitio y usos diversos
 - e) Acceso a la calidad del tránsito (movilidad)
 - f) Instalaciones para bicicleta
 - g) Mejoramiento de zonas de estacionamiento
 - h) Transporte ecológico

2. Sustentabilidad del sitio
 - a) Prevención de actividad contaminante en las construcciones
 - b) Evaluación del sitio
 - c) Desarrollo del sitio-protección o restauración del sitio del proyecto
 - d) Diseño de espacios abiertos
 - e) Manejo y gestión del agua de lluvia (recarga de mantos acuíferos)
 - f) Reducción de islas de calor
 - g) Reducción de contaminación por efectos de luz

3. Eficiencia del agua
 - a) Reducción del uso del agua en exteriores
 - b) Reducción del uso del agua en interiores
 - c) Reducción en el consumo del agua en los edificios
 - d) Uso de agua en torres de enfriamiento
 - e) Medición de consumos de agua

4. Energía y atmósfera
 - a) Mínimos de eficiencia energética
 - b) Medición de niveles de energía en el edificio
 - c) Manejo de refrigerantes
 - d) Mejoramiento de los sistemas
 - e) Optimización del rendimiento energético

- f) Medición avanzada de la energía
 - g) Producción de energía renovable
 - h) Energía alternativa y compensaciones de carbono
5. Materiales y recursos
- a) Almacenamiento y recolección de materiales reciclables
 - b) Planeación del manejo de desperdicios de construcción y demolición
 - c) Reducción del impacto del ciclo de vida del edificio
 - d) Uso de productos y materiales certificados ambiental y ecológicamente
 - e) Optimización de materias primas renovables
 - f) Uso de productos con contenido reciclado
 - g) Reuso de materiales de desperdicio de la construcción
6. Calidad ambiental al interior:
- a) Rendimiento óptimo de la calidad del aire al interior
 - b) Control del humo de tabaco
 - c) Mejoramiento de la calidad del aire al interior
 - d) Materiales de baja emisividad tóxica
 - e) Plan de manejo de la calidad del aire al interior durante la construcción
 - f) Evaluación de la calidad del aire al interior
 - g) Confort térmico
 - h) Optimización de la iluminación artificial del edificio
 - i) Iluminación natural
 - j) Calidad y desahogo visual
 - k) Rendimiento acústico de los edificios
7. Innovación
- a) Innovación en uso de sistemas, métodos y productos constructivos
 - b) Evaluador certificado
8. Prioridad regional
- a) Créditos específicos relacionados al proyecto a nivel regional

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

El modelo LEED® se considera el método más usado en el mundo para la certificación y diseño ambiental en edificaciones, por su prestigio, disponibilidad y fácil de entender (Nguyen y Altan, 2011). Como ya se ha señalado, es un método que tal como está no puede ser aplicado ni implementado en México, pero que es muy útil si se adapta al contexto mexicano a manera de tropicalización. Los rubros más importantes que maneja LEED®, y que son de gran utilidad para la propuesta de este libro, son los siguientes:

- Sitio
- Energía
- Agua
- Materiales
- Calidad del aire

Por tanto, se considera importante tomar como referencia al modelo LEED® como parte de una metodología propia para disminuir la huella de carbono en las ciudades mexicanas.

Modelo BREEAM®

Es un método para certificar edificios “verdes”, pero que también puede servir de guía de diseño para generar proyectos de bajo impacto ambiental, y por tanto de baja huella de carbono. El modelo europeo bream® communities (comunidades) está encaminado a impactar en el ámbito urbano, desde pequeños desarrollos urbanos, comunidades pequeñas y hasta una ciudad, y se resume en los siguientes rubros de diseño y contiene cada uno, una serie de estrategias de diseño que al ser consideradas en el proyecto urbano aminoran notablemente los impactos ambientales causados en todo su ciclo de vida (Building Research Establishment, 2014):

1. Gobernabilidad:
 - a) Consulta del plan de desarrollo urbano
 - b) Consulta y participación
 - c) Revisión y diseño del plan
 - d) Gestión comunitaria de infraestructura y equipamiento urbano

2. Economía local:
 - a) Impacto económico
 - b) Ventajas y oportunidades
3. Bienestar ambiental:
 - a) Evaluación de riesgos de inundación
 - b) Contaminación por ruido
 - c) Microclimas
 - d) Adaptación al cambio climático
 - e) Gestión y manejo de riesgos por inundación
 - f) Contaminación lumínica
4. Bienestar social:
 - a) Prioridades y necesidades demográficas
 - b) Provisión de vivienda
 - c) Servicios urbanos
 - d) Ámbito público
 - e) Infraestructura “verde”
 - f) Estacionamiento local
 - g) Usos y costumbres
 - h) Diseño incluyente (discapacitados y necesidades especiales)
5. Recursos y energía:
 - a) Estrategia para ahorro de energía
 - b) Infraestructura y edificios existentes (necesidades de equipamiento)
 - c) Estrategia de agua
 - d) Edificios sustentables
 - e) Materiales y productos de bajo impacto ambiental
 - f) Eficiencia de energía
 - g) Emisiones de carbono por efecto de transporte
6. Uso de suelo y ecología:
 - a) Estrategia de ecología

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico

- b) Uso de suelo
 - c) Contaminación del agua
 - d) Mejoramiento del valor ecológico del sitio
 - e) Paisaje
 - f) Recolección de agua de lluvia
7. Transporte y movilidad:
- a) Evaluación de la estrategia del transporte
 - b) Calles seguras, cómodas y atractivas
 - c) Ciclovías
 - d) Acceso e infraestructura de transporte público
 - e) Infraestructura de transporte ecológico
8. Innovación:
- a) Innovación de uso de tecnología, métodos y procesos sustentables y de alto rendimiento

El modelo BREEAM® communities, enfocado a comunidades, nos ayuda a conformar un método mexicano para la reducción de la huella de carbono en las ciudades, ya que está estructurado para ayudar a planear las ciudades desde el enfoque urbano al 100%. Ayuda a organizar y planear las consideraciones sustentables que se deben tomar en cuenta en proyectos urbanos, desde un desarrollo pequeño hasta la planeación de ciudades enteras desde la perspectiva ambiental. Al igual que LEED®, tal y como está, no podría ser utilizado en el contexto mexicano debido a las mismas razones que en el modelo anterior, referentes a que los sistemas constructivos, los materiales y las necesidades y requerimientos en México no son iguales que en las ciudades, edificios y desarrollos tanto en Europa como en los Estados Unidos.

De cualquier manera, BREEAM® es un referente importante que tomar en cuenta para la propuesta que se muestra en este capítulo.

En México no existen modelos similares a LEED® o BREEAM®, pero sí existe un *Código de Edificación de Vivienda (CEV)* de la Comisión Nacional de Vivienda (Conavi), que en su parte VI, capítulo 27, referente a sustentabilidad, desglosa una serie de recomendaciones y estrategias de diseño ambiental para proyectos urbanos y arquitectónicos que pueden ser muy útiles en las fases de planeación, diseño y construcción de proyectos urbano-arquitectónicos. El documento está dividido en 10 partes con 52 capítulos, el capítulo 27 es el dedicado a describir cómo llegar a la sustentabilidad de los proyectos y se resume en lo siguiente (Conavi, 2015):

1. Energía:
 - a) Ahorro de energía
 - b) Tecnología
 - c) Iluminación
 - d) Gas
 - e) Electrodomésticos en general
 - f) Diseño de la envolvente
 - g) Diseño bioclimático

2. Energías renovables:
 - a) Sol y viento
 - b) Viento
 - c) Calentamiento de agua con energía solar
 - d) Generación de electricidad con energía solar

3. Agua:
 - a) Calidad y tratamiento de agua
 - b) Red de distribución de agua potable
 - c) Tecnologías para el ahorro de agua
 - d) Recarga por inyección directa de agua residual tratada al manto freático

4. Áreas verdes:
 - a) Áreas verdes en los desarrollos habitacionales
 - b) Mapas climáticos
 - c) Zonas climáticas y sus características
 - d) Bioclimas en México y relación de ciudades

El *Código de edificación de la vivienda* es un documento que está escrito a manera de manual o reglamento (aunque no es una norma oficial), pero es muy útil sobre todo en cómo se pueden utilizar los mapas bioclimáticos, su importancia en el diseño pasivo de edificios, y debido a que está dirigido a desarrolladores inmobiliarios específicamente de vivienda masiva, lo hace un documento muy útil para desarrollos urbanos pequeños a medianos.

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

Es también un documento que sirve de referencia para la elaboración del modelo propuesto en este libro.

Por tanto, de los tres modelos anteriores, podemos obtener una propuesta que se adapte a las condiciones del desarrollo de proyectos urbano-arquitectónicos de bajo carbono que demandan las ciudades actuales. Esto se basa en el decálogo mencionado en el capítulo 3.

Existen otros modelos, normas técnicas y metodologías tanto nacionales como extranjeras que se excluyen como referencias debido a que sus rubros de diseño sustentable son prácticamente los mismos que los tres modelos anteriores.

A continuación, se detalla el modelo propuesto como metodología para la edificación sustentable en México, que coadyuve al desarrollo de proyectos de tipo ambiental con el fin de reducir los impactos ambientales causados por la edificación y urbanización de ciudades y, por tanto, que ayude a la reducción de la huella de carbono y del calentamiento global.

CHECKLIST PARA LA EDIFICACIÓN Y URBANIZACIÓN AMBIENTAL EN MÉXICO (PROPUESTA)

Partiendo de la revisión de las leyes mexicanas relacionadas a la protección del ambiente, caso específico de la LGEEPA, de la Ley de Cambio Climático y su acuerdo sobre la Estrategia Nacional de Cambio Climático y de los tres modelos anteriores descritos en este libro, se generó una propuesta general (*Checklist*) para reducir la huella de carbono en las ciudades, desde el punto de vista urbano-arquitectónico, que abarca el siguiente decálogo y que se concentra en la tabla 12, por rubro, y por cada rubro, estrategias de diseño sustentable en edificación y urbanización:

1. Conservación de la biodiversidad del lugar, incluyendo la conservación de los recursos no solamente bióticos sino abióticos y de paisaje.
2. Respeto y mejoramiento de los planes urbanos regionales y locales.
3. Planeación urbana sustentable y diseño arquitectónico sustentable, que debe incluir: manejo sustentable del sitio, manejo sustentable de los recursos del agua, manejo sustentable de la energía (tanto pasiva como activa), manejo sustentable de materiales y desperdicios de la construcción y confort al interior y exterior de los edificios.
4. Manejo sustentable de parques y jardines en las ciudades, incluyendo reforestación y captura de carbono.

5. Manejo sustentable del transporte y la movilidad en las ciudades.
6. Infraestructura y equipamiento sustentable a través del diseño y planeación urbana.
7. Manejo integral de residuos, incluyendo los de la industria de la construcción.
8. Planeación de la durabilidad y vida útil de los componentes de las ciudades.
9. Conservación de suelo, aire y agua.
10. Prevención y mitigación de riesgos en las ciudades.

Tabla 12. Estrategias de diseño y planeación sustentable en edificación y urbanización por rubro ambiental
(*Checklist* propuesto para la reducción de la huella de carbono en las ciudades)

**Plan de diseño sustentable en edificaciones y urbanizaciones
por rubro ambiental (estrategias de diseño sustentable)**

Proyecto:

Ubicación del proyecto:

Responsable de la obra:

Proyecto arquitectónico:

Consultor en diseño arquitectónico sustentable:

1. Estrategias del sitio

Gestión y participación comunitaria para el desarrollo o modificaciones a los planes de desarrollo urbano.

Prioridades y necesidades de la población.

Servicios de infraestructura, servicios y equipamiento urbano de tipo ecológico.

Mejoramiento de la infraestructura del transporte (transporte inteligente y sustentable).

Considerar en el diseño y la planeación los usos y costumbres locales de la población.

Diseño incluyente (discapacitados y necesidades especiales).

**Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico**

Proveer adecuada calidad del aire en las ciudades (cuantificable).

Disminución regional y global de la energía a través de uso de energías alternativas, limpias y renovables de baja huella de carbono en las ciudades.

Ventajas y oportunidades de desarrollo económico para la zona (ventajas y oportunidades para negocios, gobierno y ciudadano).

Previsión y provisión de uso de suelo.

Plan de movilidad e interconectividad urbana (preferentemente peatonal, con transporte ecológico y de bajo consumo de energía).

Manejo sustentable de parques y jardines en las ciudades. (Reforestación y mayor captura de carbono).

Manejo sustentable del transporte y de la movilidad en las ciudades.

Manejo integral de residuos de la ciudad incluyendo los de la industria de la construcción.

Planeación de la durabilidad y vida útil de los componentes de las ciudades y edificios. Información que sirve también para calcular la huella de carbono de los materiales con que están hechas las edificaciones.

Conservación del suelo, aire y del agua en las ciudades.

Prevención y mitigación de riesgos en las ciudades.

Evitar sitios vulnerables a riesgo (por ejemplo: inundación o protegidos como reservas naturales. Revisar y consultar el plan y los programas de desarrollo urbano de la localidad).

Minimizar el desarrollo del espacio abierto a través de la selección de terrenos perturbados, la reutilización de sitios abandonados y la rehabilitación de edificios existentes.

Orientación del edificio y emplazamiento en el terreno (Ejemplo: orientar el edificio preferentemente oriente-poniente para ganar calor en el eje longitudinal dependiendo los casos, clima y tipo de edificio).

Análisis del equipamiento e infraestructura urbana (para conocer el radio de acción de impacto del proyecto), (por ejemplo para posible llegada en bicicleta y motocicleta, o prever malos olores, ruido o contaminación lumínica). Por supuesto para mejorar los servicios públicos de la zona.

Plan de manejo de la obra exterior (pavimentos, andadores, calles, aplicación de concreto poroso o permeable en pavimentos exteriores. Revisar el sistema de alcantarillado, aplicación de lámparas al exterior con celda fotovoltaica y sensor de luz).

IV. Modelos para la planeación sustentable de ciudades ante el cambio climático

Control de la erosión y plan de manejo del paisaje entorno al sitio. (Propuesta para evitar erosión del terreno durante la fase de construcción y posconstrucción), (propuesta de jardinería utilizando vegetación endémica y adecuada para invierno y verano, dependiendo de las orientaciones del inmueble, del clima y del tipo de edificio).

Alternativas de transporte en el sitio: (Considerar áreas de aparcamiento de bicis y motos, así como accesos y rutas); preferentemente en el siguiente orden:

Peatonal
Bicicleta
Motocicleta
Transporte público
Transporte privado

Incluye la evaluación estratégica del transporte del lugar, calles seguras, cómodas y atractivas, ciclovías y el mejoramiento del transporte público de tipo ecológico y bajo consumo.

Desarrollo del sitio en su protección y restauración (incluye relación biótica y abiótica del lugar, acrecentar la biodiversidad ecológica del sitio, creación de microclimas al interior del sitio, usar vegetación endémica). Incluyendo corredores de vida silvestre.

Planeación y control de la cantidad de agua de lluvia en el sitio (captación, almacenaje y uso). Determinar necesidades y área de captación según precipitación pluvial.

Reducción de islas de calor (por ejemplos: con techos verdes en la azotea del lado sur, jardines y arboles al exterior y el uso de protectores solares de la fachada sur), (instalación de una velaria en la azotea que cubra parcialmente el techo), (implementación de pavimentos permeables de concreto poroso y adopasto).

Reducción de la contaminación lumínica, acústica y por malos olores. (Mediante barreras naturales).

Mejoramiento del valor ecológico del sitio (por ejemplo a través de áreas verdes, uso de ecotécnicas y conservación de la biodiversidad del sitio).

2. Estrategias de agua

Mínimo de tuberías e instalaciones y eficiencia en sus conexiones (revisar instalación hidráulica).

Aseguramiento y medición del rendimiento de la cantidad del agua (en el edificio completo o por partes o en conjunto).

Instalaciones adicionales tanto en tubería como en conexiones; para reducir el consumo del agua de un 10% a un 40%. (Uso de lavabos, mingitorios e inodoros ahorradores; por ejemplo, los mingitorios de gel y otros ahorradores, uso de sensores de tiempo en lavabos y mingitorios).

Reducción del consumo del agua de la red con agua de lluvia (20% aprox.). (Determinar la superficie de captación).

**Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas.
Enfoque urbano-arquitectónico**

Uso del agua en torres de enfriamiento en climas cálidos.

Uso de sistemas para aprovechamiento de aguas grises para aplicaciones no potables (incluye tratamiento biológico y químico), (usar aguas grises y depositarlas y llevarlas solamente por gravedad a mingitorios e inodoros o llevarlas a un depósito o cisterna para luego por medio de bombeo llevarlas a un tinaco en la azotea).

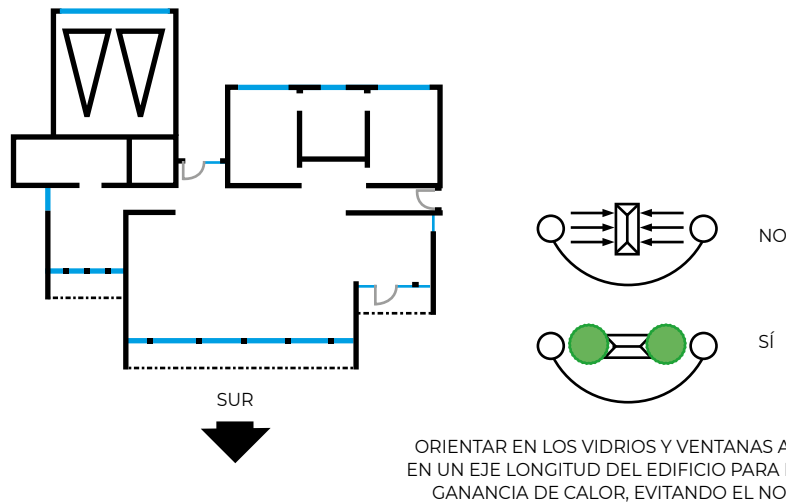
Tratamiento de aguas negras (revisar reglamento de agua potable o norma técnica correspondiente).

3. Estrategias de energía

Control pasivo para rendimiento de energía en los edificios:

Orientación del edificio (figura 8 y 9) para aprovechamiento de ganancia o pérdida de calor (ejemplo: reducir la ganancia de calor en abril y mayo, principalmente en fachada sur).

Figura 8. Orientación de edificio para ganar calor

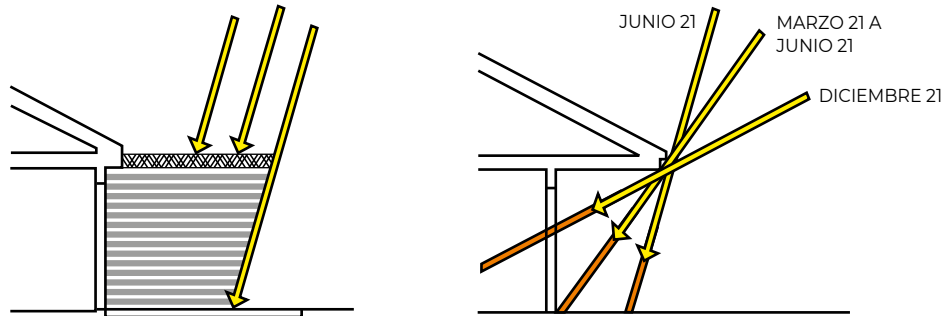


ORIENTAR EN LOS VIDRIOS Y VENTANAS AL SUR
EN UN EJE LONGITUD DEL EDIFICIO PARA MAYOR
GANANCIA DE CALOR, EVITANDO EL NORTE.

Dibujo: Silverio Hernández Moreno

Para obtener mayor calor solar orientar los vidrios hacia el lado sur (evitar siempre el norte) para maximizar la exposición de sol de invierno, incluyendo aleros para dar sombra en el verano (aplica solamente para ubicaciones en el hemisferio norte).

Figura 9. Los aleros de las ventanas e incidencia de radiación solar (diseñados para cierta latitud) o toldos móviles, aumentan en verano, se retractan en invierno y pueden reducir o eliminar el aire acondicionado



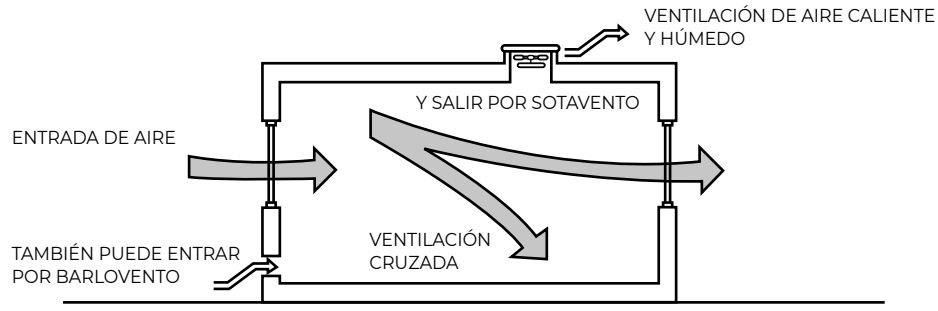
Dibujo: Silverio Hernández Moreno

Optimizar el envoltente del edificio para mejorar el rendimiento térmico del inmueble (ejemplos: aislamiento térmico al norte, sellado de ventanas y juntas constructivas posibles cancelas del doble vidrio en fachada norte).

Proveer iluminación natural (tragaluces, domos, persianas, parasoles), (chechar cubo escaleras, posiblemente iluminar por cambios de losas o iluminación natural con fibra óptica en caso de sótanos).

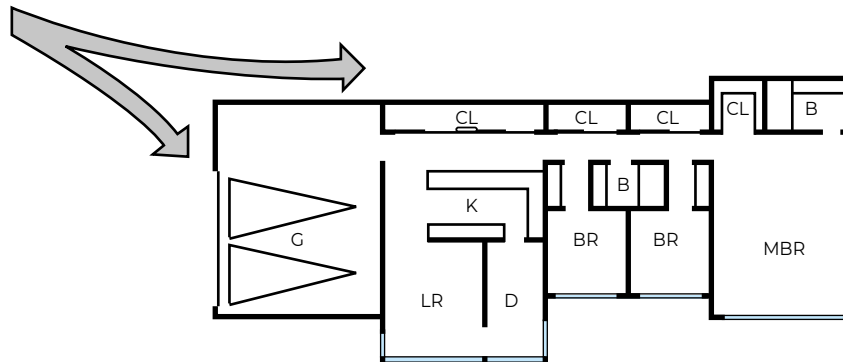
Proveer ventilación natural (ventilación directa, cruzada, barlovento y sotavento, ventanas, ventilas, ventiladores pasivos). Nota: revisar detalles de cancelería y proponer más entradas de aire para provocar ventilación cruzada, checarlo en los planos de detalles de cancelería), (revisar los vientos dominantes en meses más calurosos).

Figura 10. Ventilación cruzada



Dibujo: Silverio Hernández Moreno

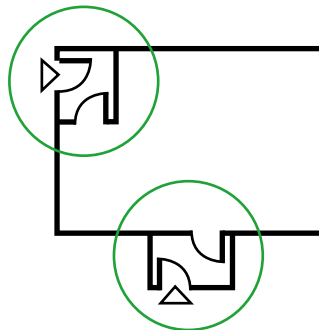
Figura 11. Localización de los locales arquitectónicos para ganar y perder calor



Dibujo: Silverio Hernández Moreno

Localice las áreas de cocheras, cuartos de servicio, escaleras, pasillos o almacenamiento del lado donde el edificio dé hacia el viento más frío, para ayudar a aislarlo.

Figura 12. Cerraduras de aire vestibular

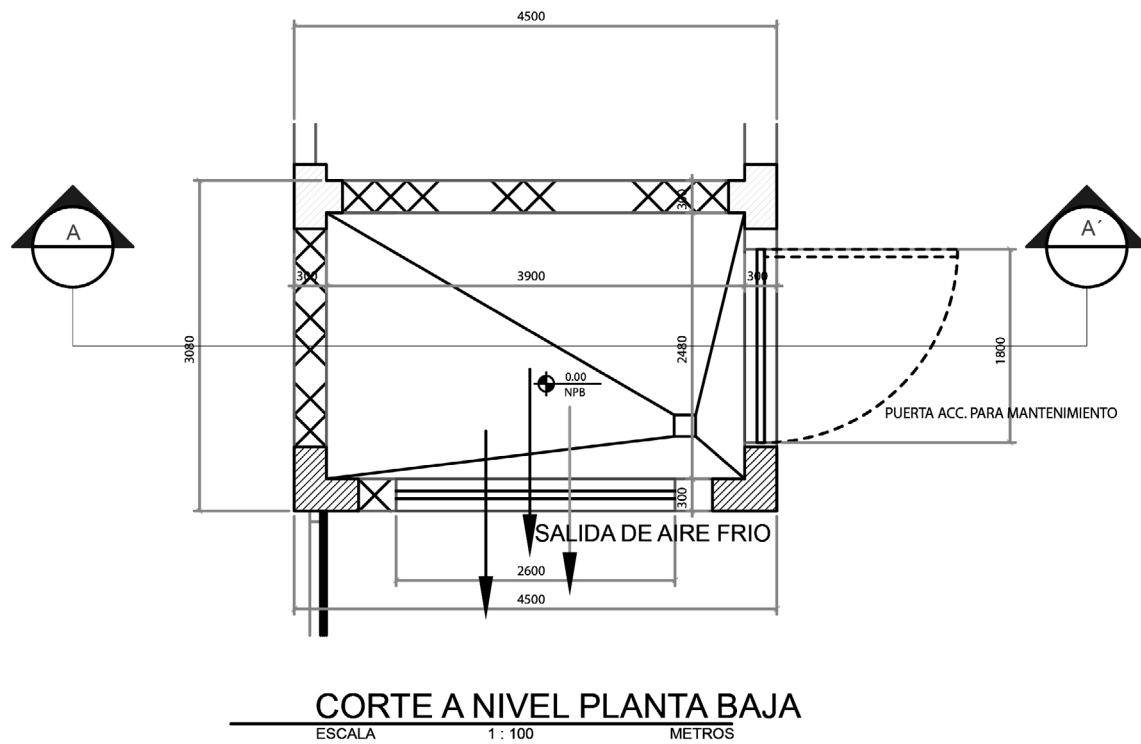


Dibujo: Silverio Hernández Moreno

Utilice entradas de vestíbulo (cerraduras de aire) para minimizar la infiltración y eliminar las corrientes de aire, en sitios fríos y con viento.

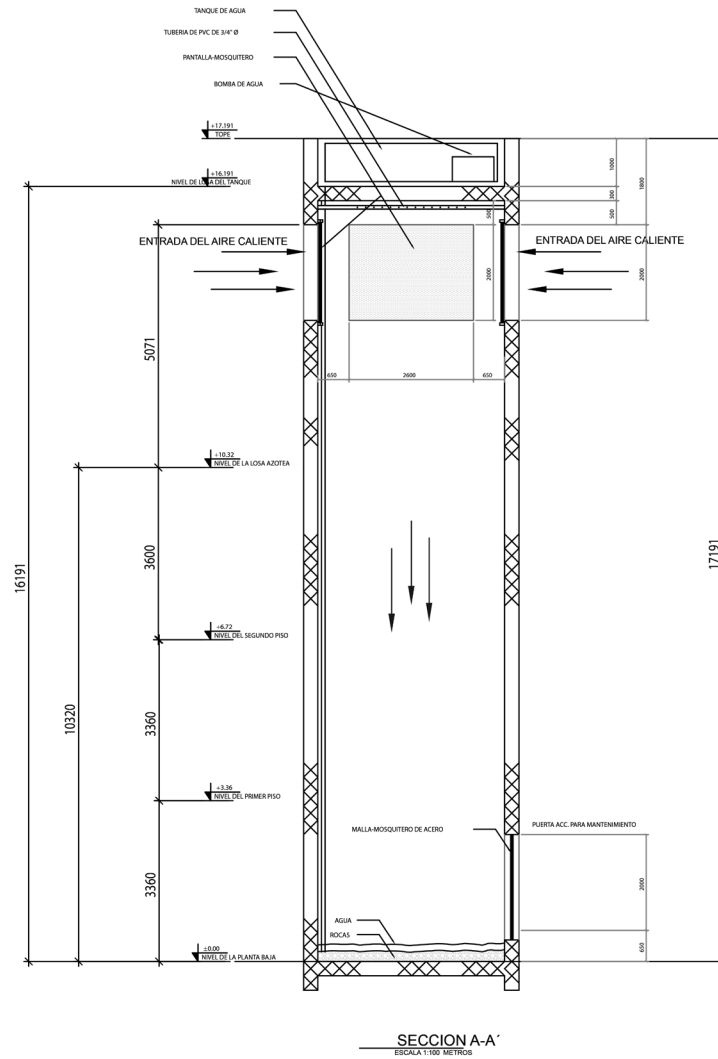
Proveer ecotecnologías para adecuada ganancia o pérdida del calor (para ventilar y enfriar principalmente) (aislar térmicamente las fachadas).

Figura 13. Planta de una torre de enfriamiento y ventilación pasivos para perder calor al interior de los edificios



Dibujo: Silverio Hernández Moreno

Figura 14. Sección de la torre de enfriamiento pasivo



Dibujo: Silverio Hernández Moreno

Control de la humedad al interior del inmueble (mediante adecuada ventilación natural).

Control activo para el rendimiento de energía en los edificios:

Iluminación artificial (reducir la energía con lámparas ahorradoras (Hernández, 2015c), uso de sensores y actuadores inteligentes).

Ventilación artificial (sistemas de aire acondicionado y calefacción, solo si es necesario; y uso de ventiladores eléctricos combinados con sensores y actuadores inteligentes o automatizados) (¿podríamos eliminar el aire acondicionado total o parcialmente mediante sistemas pasivos de climatización? Sí, mediante una torre de enfriamiento e iluminación cruzada) ¿Y podríamos evitar la calefacción artificial? Sí, mediante sistemas pasivos de calefacción).

Ganancia o pérdida de calor artificial (sistemas de aire acondicionado y calefacción combinados con sistemas inteligentes o automatizados).

Humidificación y deshumidificación artificial e inteligente (implementar sensores de humedad) (uso de humidificadores y deshumidificadores en zonas de alta humedad).

Diseño eficiente de los sistemas electromecánicos:

Proveer una adecuada instalación de iluminación artificial (luminarias, fases, cargas, conductores).

Maximizar el rendimiento de los sistemas electromecánicos (posible uso de capacitores eléctricos).

Uso eficiente de los equipos y aparatos (que cumplan con la norma técnica ambiental de ahorro de energía correspondiente)

Instalación de dispositivos eléctricos reductores del consumo de energía eléctrica (capacitores).

Uso de energía de bajo impacto ambiental:

Uso de energías renovables u otras fuentes alternas (fotovoltaica y calentamiento pasivo del agua), (proponer el cuarto de máquinas en la azotea para el sistema FV) (hacer cálculo FV para cubrir un 10-15% de la carga total instalada).

Considerar a nivel urbano generadores eólicos de electricidad, generadores minihidráulicos, geotérmicos y de otras energías alternativas de base de hidrógeno.

Simular el total de la energía que se usaría:

Integrar los sistemas y reducir el uso total de la energía hasta un 30% (estimo un 20% para este caso con relación a edificios convencionales).

Medir las emisiones de carbono por efecto de energía del transporte.

Uso de tecnología innovadora para los sistemas de energía.

4. Estrategias de confort al interior y exterior de los edificios

Calidad del aire:

Controlar la humedad y prevenir agentes infecciosos (integrar sensores de humedad en el sistema de aire acondicionado).

Proveer buena ventilación para mayor confort térmica y patógena (ventilación natural y artificial).

Control del tabaco (usando señalética).

Control de la calidad del aire al interior (plan y monitoreo, utilizando sensores de CO₂).

Factores humanos:

Proveer buenas condiciones térmicas (diseño pasivo y activo), (proveer una zona de confort cerca a 22° C).

Proveer buena iluminación (diseño pasivo y activo), (proveer la luminancia necesaria tanto en forma natural como artificial).

Proveer una buena ventilación (diseño pasivo y activo), (proveer intercambios de aire por segundo en l/s aprox. 8 l/s por usuario).

Proveer buenas condiciones acústicas (diseño pasivo y activo) (por ejemplo, de 35-48 dB para un ambiente en una oficina).

Proveer buenas condiciones de vibraciones (diseño pasivo y activo) (revisar las cargas de trabajo en la estructura, sellado de vidrios y ventanas y ajuste general en accesorios y equipo).

Proveer adecuado desahogo visual al exterior (diseño pasivo). Revisar condiciones.

Controlar los malos olores externos (diseño pasivo y activo).

Control del confort por ocupación y ergonomía (diseño pasivo y activo), (chechar mobiliario según espacios arquitectónicos y actividades a realizar).

Control de condiciones de humedad (diseño pasivo y activo). Checar ventilación natural para llegar a un porcentaje ideal de humedad entre 30 y 50%.

Otros factores:

Limpieza y mantenimiento del inmueble (prever y proveer un manual de limpieza).

Productos y equipos usados para limpieza y mantenimiento (de tipo biodegradable)

Control interno de contaminantes químicos y físicos (manual de limpieza y mantenimiento)

5. Estrategias en materiales de construcción

Evaluación de propiedades de materiales y disminución de volúmenes en la obra (revisar materiales empleados).

Análisis por ciclo de vida en materiales para reducir su huella de carbono tanto en la producción de materiales como en la disposición final de los desechos.

Extracción de materias primas:

Uso de materiales de bajo impacto ambiental durante su ciclo de vida con huella baja de carbono (hacer estudios y selección de materiales de bajo impacto ambiental y bajo contenido de carbono y de materiales tóxicos peligrosos).

Producción:

Uso de materiales recuperados y remanufacturados (materiales de reuso en buenas condiciones).

Uso de materiales y productos con contenido reciclado (revisar si hay en la región).

Uso de materiales renovables (maderas, fibras naturales, adobes).

Distribución:

Uso de materiales producidos localmente (realizar lista de materiales de la región).

Instalación y construcción:

Uso de materiales de baja emisión de sustancias volátiles (evitar materiales como selladores y pinturas con alto índice de compuestos orgánicos volátiles).

Uso de materiales durables. Revisar la vida útil que marca el fabricante, sino estimarla o calcularla.

Reuso y reciclamiento:

Uso de materiales reusables, reciclables y biodegradables (realizar lista de materiales ecológicos, principalmente según normas técnicas mexicanas).

6. Estrategias en desperdicios de construcción

Reducción de los desechos y desperdicios en todo el ciclo de vida. Control de desechos en todo el ciclo de vida del edificio, (hacer programación).

Manejo apropiado de los residuos peligrosos. Control desechos en todo el ciclo de vida del edificio, bajo normas técnicas mexicanas.

Elaboración de un manual de mantenimiento para reducir desperdicios en todo el ciclo de vida del inmueble (elaboración de manual de mantenimiento para el inmueble), (manejo de residuos sólidos en toda su vida útil).

Conservación de recursos:

Reuso de edificios existentes (reuso de edificios existentes o partes de edificios en el conjunto).

Diseño para un menor uso de materiales. Reducir espacios arquitectónicos y volúmenes de obra.

Diseño de edificios plurifuncionales o adaptables (diseño arquitectónico flexible).

Diseño de edificios para ser desmantelados, no demolidos (Uso de prefabricados y sistemas de prefabricación).

Manejo de desperdicios:

Ahorrar y reciclar los desperdicios de demolición (incluyendo desperdicios de obra durante fase de construcción).

Reducir, reusar y reciclar los desperdicios de construcción (incorporar desperdicios a nuevos componentes de la construcción).

Reducir y reciclar los desperdicios de envasado de productos (separar y mandar a reciclar las bolsas).

Reducir y reciclar los desperdicios de los usuarios del edificio (separar la basura durante fase de ocupación del inmueble).

Reducir y tirar apropiadamente los desperdicios peligrosos (consultar a especialistas en caso de usar materiales peligrosos durante y después de la fase de construcción).

Este modelo de diseño sustentable en edificaciones y espacios urbanos propuesto en este libro tienen base en otros modelos y metodologías ya probadas y señaladas en capítulos anteriores, además está elaborado de acuerdo con la normatividad vigente en materia de impacto ambiental, ordenamiento territorial, en el acuerdo sobre el cambio climático y, sobre todo, con base en la LGEEPA y la Ley de Cambio Climático en México. La propuesta se desarrolla y se enfoca a las necesidades del contexto mexicano en el ámbito urbano-arquitectónico con propuestas concretas por rubro de diseño y planeación sustentables para mitigar y reducir la huella de carbono en el ámbito urbano.



Conclusión

De acuerdo con lo detallado en cada capítulo, consideramos que Latinoamérica y el Caribe son las regiones más pobladas con relación al 80% de su población, quienes viven en las ciudades. En México encontramos la misma proporción. Existen cinco sectores clave en los que se han concentrado las reacciones de las zonas urbanas para mitigar el cambio climático: desarrollo y diseño de las zonas urbanas, entorno edificado, infraestructuras urbanas, transporte, captura de carbono.

Considerando que casi el 80% de la población mexicana vive en ciudades, también parece razonable afirmar que esta población sería responsable de aproximadamente 80% de las emisiones de GEI. Para contribuir en la reducción de GEI, desde un enfoque arquitectónico, se deben conocer las principales fuentes emisoras de gases contaminantes, y con base en ello tomar acción.

Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas. Enfoque urbano-arquitectónico

En México, las principales fuentes emisoras de GEI se encuentran en el sector energético; el transporte y la producción de energía eléctrica son las actividades que mayor huella de carbono presentan.

Con el transporte hay pendientes. Desde el enfoque urbano-arquitectónico, el transporte tiene que ver con la movilidad de las personas, por lo que la planeación, diseño, construcción y mantenimiento de vías de comunicación debe hacerse considerando que las personas se trasladen en vehículos eficientes de grandes dimensiones como es el caso del metro, tren ligero y metrobús; así como en bicicletas y motocicletas; de esta manera reducirían los daños al ambiente.

Por su parte en el caso de la generación de energía eléctrica, un uso eficiente y de bajas emisiones, se verá reflejado en el ahorro energético de las edificaciones, pues entre menor sea el consumo habrá menos necesidad de producción. En este caso, se debe procurar que en la planeación de las construcciones se optimicen recursos naturales como es el caso de la luz del sol, los vientos, incluso el agua de lluvia. Con ello, se evitará hacer uso innecesario de la energía eléctrica.

El agua es un recurso natural invaluable e indispensable para la vida. En el contexto urbano, es imprescindible para cubrir las necesidades básicas de la población, por lo que debe asegurarse el suministro y disponibilidad. Por parte de los usuarios debe motivarse una cultura del buen uso del agua, y evitar que ésta sea desperdiciada o empleada en usos innecesarios.

La incorporación de vegetación en las ciudades es una estrategia muy útil para capturar CO₂e que ya ha sido liberado a la atmósfera, adicionalmente con la instalación de parques y jardines, se mejora la sensación térmica de los espacios arquitectónicos, lo que permite disminuir el uso de aparatos de clima, y por ende el ahorro de energía eléctrica y disminución de emisiones contaminantes.

Los espacios, para incorporar vegetación en las ciudades, no deben limitarse sólo a parques, jardines o camellones, se debe ampliar el espectro y pensar en azoteas, paredes verticales y techos de vehículos circulantes, por mencionar algunos.

La tendencia en el sector de energía eléctrica va encaminada a que cada edificación sea autosuficiente en cierto grado respecto al suministro de su energía. Para ello, se requiere que en México se adopte la tecnología necesaria para su generación (a un costo accesible y con diversidad de opciones) como es el caso de los paneles fotovoltaicos y almacenamiento de la energía.

El principal problema en términos ambientales, de los residuos en general, es su disposición final. Urge que los RSU tengan un manejo adecuado en los sitios de disposición, pero más importante es el hecho de que todo aquel recurso susceptible de reciclar sea reaprovechado, pues con ello se disminuirá inimaginablemente el volumen que ocupan los residuos en los sitios de disposición, así como la contaminación al suelo y al aire que estos provocan al estar a cielo abierto.

Por su parte los RCD constituyen una oportunidad de reutilización. En este terreno hay pendientes por hacer ya que reutilizar los RCD, además de disminuir los costos de las nuevas edificaciones, estarían aportando directamente a la disminución de la huella de carbono en las ciudades, al evitar la extracción de nuevos materiales.

El cambio climático es inminente y se precisa llevar a cabo ahora mismo acciones, estrategias y programas que reduzcan, mitiguen y eviten el aumento del calentamiento global de la atmósfera, lo que trae muchas consecuencias nocivas al planeta y al ser humano ya conocidas en formas de huracanes, inundaciones, maremotos, entre otros fenómenos, para lo que debemos estar prevenidos y sobre todo preparados.

Desde el punto de vista urbano-arquitectónico, es necesario implementar y llevar a cabo métodos de diseño y planeación de ciudades que permitan reducir y mitigar los efectos de las emisiones de CO₂, particularizando en rubros como: energía, agua, transporte, materiales y desechos en las ciudades y edificios.

Es importante mencionar que en la actualidad hay “buenas” intenciones por parte de los gobiernos mexicanos de los tres niveles, pero en la realidad no se están alcanzando las metas planteadas sexenio tras sexenio, y en el papel están escritas leyes y normas que aparentan un plan estratégico, pero que en la práctica no se están llevando a cabo, lo cual es un problema nacional de urgencia y prioritario, que debe dar respuesta a la salud pública en México, y que desafortunadamente no se está realizando.

La cuestión cultural y educativa es trascendente si se desea modificar usos y costumbres sobre gasto y consumo de recursos naturales, humanos y materiales por lo que en materia de urbanismo y arquitectura, se deben adoptar y adaptar métodos y modelos que permitan reducir los impactos ambientales durante toda la vida útil de la infraestructura y equipamiento urbanos.

Las ciudades y áreas urbanas son un factor muy relevante en la generación de impactos ambientales ya sea en los ámbitos regional o global. Estos impactos ambientales son generados principalmente por la industria y la quema de combustibles derivados del petróleo (Dong *et al.*, 2014) que contaminan el aire, el agua y el suelo, modificando su condición natural.

Los mayores impactos ambientales, y por tanto mayor emisión de CO₂, se dan en la etapa de uso, operación y mantenimiento de los inmuebles, es decir, la vida útil o vida de servicio del edificio, debido a que se requiere gran cantidad de energía y productos para operar el inmueble, tales como energía para iluminación, aire acondicionado, calefacción, calentamiento de agua, energía para electrodomésticos, refrigerantes para aire acondicionado entre otros.

La segunda etapa del ciclo de vida que más contamina es la que respecta a la fabricación o manufactura de los materiales y productos de construcción, que pertenece propiamente a la segunda fase del ciclo de vida de los materiales (Lockie y Berebecky, 2012).

Constructores y urbanistas deben adoptar, adaptar y crear si es posible, nuevos modelos que eviten o mitiguen estos daños al ambiente, que muchas veces son irreversibles.

Pudimos observar que LEED®, modelo estadounidense (de los más usados en el mundo) y el más conocido, consta de un método de diseño ambiental de edificios que se está implementando en todo el mundo por su prestigio y flexibilidad. Es un modelo que además de servir como guía de diseño ambiental durante las fases de diseño, construcción y mantenimiento del inmueble, se utiliza para certificar edificios “verdes” con base en un puntaje establecido por su metodología y evaluado por especialistas certificados.

Por su parte, el modelo europeo BREEAM® communities (comunidades) está encaminado a impactar en el ámbito urbano, desde pequeños desarrollos urbanos, comunidades pequeñas y hasta una ciudad una serie de estrategias de diseño que al ser consideradas en el proyecto urbano aminoran notablemente los impactos ambientales causados en todo su ciclo de vida (Building Research Establishment, 2014).

Este modelo de diseño sustentable en edificaciones y espacios urbanos propuesto en este libro (tabla 12), está basado en otros modelos y metodologías ya probadas y señaladas en este documento, además está elaborado de acuerdo con la normatividad vigente en materia de impacto ambiental, ordenamiento territorial, en el acuerdo sobre el cambio climático y, sobre todo, con base en la LGEEPA y la Ley de Cambio Climático en México.

Para concluir debemos mencionar que el transporte en las ciudades mexicanas es un factor pendiente, ya que por ejemplo el consumo de gasolinas y diésel, en lugar de decrecer, va en aumento y asimismo crece la flota vehicular en las ciudades sobre todo de tipo particular, lo cual debe disminuir de acuerdo con *Plan Nacional de Cambio Climático*. Por tal motivo, es necesario que el tipo de transporte predominante en las ciudades sea de bajo carbono, es decir, de bajas emisiones de CO₂, en donde se puedan utilizar energías alternativas que paulatinamente vayan bajando la huella de carbono, de manera global, en las ciudades.



Glosario básico de cambio climático y planeación urbana sustentable

ADAPTABILIDAD

Es la capacidad de resiliencia de los actores de un sistema, ya sea alejándose de un umbral que al alcanzarse cambiaría fundamentalmente las propiedades del sistema, o alterando las características de estabilidad (cambiando la posición de los umbrales y la facilidad de movimiento de un sistema) (Ize Lema, 2016).

AMBIENTE

El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

CALENTAMIENTO GLOBAL

Aumento generalizado de la temperatura en la atmósfera terrestre ocasionado principalmente por emisión de gases de efecto invernadero (Klemes, 2015).

CAMBIO CLIMÁTICO

Importante variación estadística en el estado medio del clima o en su variabilidad, que persiste durante un periodo prolongado (normalmente decenios o incluso más). El cambio climático se puede deber a procesos naturales internos o a cambios del forzamiento externo, o bien a cambios persistentes antropogénicos en la composición de la atmósfera o en el uso de las tierras. Se debe tener en cuenta que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), en su artículo 1, define *cambio climático* como: “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. La CMCC distingue entre “cambio climático” atribuido a actividades humanas que alteran la composición atmosférica y “variabilidad climática” atribuida a causas naturales (FAO, 2015).

CIUDADES SUSTENTABLES

Ciudades que en su diseño y planeación se tomaron en cuenta las principales premisas de la sustentabilidad, como el aprovechamiento del sitio, el ahorro del agua, de la energía, de los materiales y sus desechos, en donde no solamente se reducen los impactos ambientales sino también se mejoran las condiciones de confort y de calidad de vida de sus habitantes (Hernández, 2010).

CONTAMINACIÓN

La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

CONTAMINANTE

Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

BIÓXIDO DE CARBONO (CO₂)

Gas que se produce de forma natural y también como subproducto de la combustión de combustibles fósiles y biomasa, cambios en el uso de las tierras y otros procesos industriales. Es el principal gas de efecto invernadero antropogénico que afecta al equilibrio de radiación del planeta. Es el gas de referencia frente al que se miden otros gases de efecto invernadero y, por lo tanto, tiene un potencial de calentamiento mundial de 1 (FAO, 2015).

El bióxido de carbono equivalente (CO₂e) es la cantidad de emisiones de CO₂ que causarían el mismo forzamiento radiativo que la cantidad emitida de un gas de efecto invernadero bien mezclado o una mezcla de gases de efecto invernadero bien mezclado, todo multiplicado con sus respectivos PCC para tener en cuenta los diferentes tiempos de permanencia en la atmósfera. Es una medida universal de medición utilizada para indicar la posibilidad de calentamiento global de cada uno de los gases con efecto invernadero. Es usado para evaluar los impactos de la emisión (o evitar la emisión) de diferentes gases que producen el efecto invernadero. Por ejemplo, la “posibilidad de calentamiento global”, de los tres gases con efecto invernadero asociados con la silvicultura son los siguientes: dióxido de carbono, que persiste en la atmósfera entre 200 a 450 años, es definido como un potencial 1 del calentamiento mundial; el metano persiste en la atmósfera entre 9 a 15 años y tiene un potencial de calentamiento global 22 (tiene 22 veces la capacidad de calentamiento del bióxido de carbono); y el óxido nitroso que persiste por unos 120 años y tiene un potencial de calentamiento global 310. La concentración actual de gases con efecto invernadero tiene una capacidad de calentamiento equivalente a una concentración cercana a 472 partes por millón, lo cual es lo suficientemente caliente para incrementar la temperatura más de 2°C (IPCC-GTI, 1996).

DISEÑO PASIVO

Proceso de creación de bienes y servicios en donde se toman consideraciones bioclimáticas (sol, humedad, viento) del entorno del producto y en donde no se utilizan mecanismos que consuman energía, tales como electricidad o gas para su operación. En arquitectura, se refiere a un método utilizado con el fin de obtener edificios que logren su acondicionamiento ambiental mediante procesos naturales.

DISEÑO SUSTENTABLE

Proceso de creación tanto para planear y edificar ciudades con base al desarrollo sustentable (Hernández, 2010).

EFICIENCIA ENERGÉTICA

Reducción económicamente viable de la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades energéticas de los servicios y bienes que requiere la sociedad, asegurando un nivel de calidad igual o superior y una disminución de los impactos ambientales negativos derivados de la generación, distribución y consumo de energía (Sener, 2014).

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Liberación al ambiente de sustancias gaseosas, principalmente CO₂ o sus equivalentes de CO₂ (metano, óxido nitroso, per-fluoro-carbono o hidro-fluoro-carbonos, por citar algunos) provenientes de una fuente contaminante que provocan efecto invernadero y que a su vez propician calentamiento global de la atmósfera terrestre (Klemes, 2015).

ENERGÍAS RENOVABLES

Fuentes de energía que son sostenibles, dentro un marco temporal breve si se compara con los ciclos naturales de la tierra, e incluyen tecnologías no basadas en el carbono, como la solar, la hidrológica y la eólica, además de las tecnologías neutras en carbono, como la biomasa (FAO, 2015).

FORZAMIENTO RADIATIVO

Se entiende como aquel cambio en el balance entre la radiación solar que entra y la radiación infrarroja que sale de la Tierra (se expresa en watts por metro cuadrado, Wm^{-2}), debido, por ejemplo, a una alteración en la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera o a cambios en la energía solar que incide en el planeta. Se estima que en el periodo comprendido entre 1750 y 2000, este forzamiento atribuido al aumento de los gases de efecto invernadero en su conjunto, ha alcanzado el valor de $2.43 Wm^{-2}$: $1.46 Wm^{-2}$ debido al CO_2 ; $0.48 Wm^{-2}$ debido al CH_4 ; $0.34 Wm^{-2}$ debido a los halocarbonos, y $0.15 Wm^{-2}$ debido al N_2O (IPCC 2001).

HUELLA DE CARBONO

Es un indicador que mide la cantidad de gases de efecto invernadero, expresados en toneladas de CO_2 equivalente, asociados a las actividades de una empresa, entidad, evento, producto/servicio o persona. Por lo tanto, lo que mide la huella de carbono es la contribución de cada una de estas actividades al calentamiento global. El cálculo de la huella de carbono es la primera medida para actuar frente al cambio climático, porque sólo se puede actuar sobre lo que se ha medido previamente (Klemes, 2015).

IMPACTO AMBIENTAL

Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2012).

IMPACTOS

Efectos en los sistemas naturales y humanos. En el presente libro, el término *impactos* se emplea principalmente para describir los efectos sobre los sistemas naturales y humanos de episodios meteorológicos y climáticos extremos y del cambio climático. Los impactos generalmente se refieren a efectos en las vidas, medios de subsistencia, salud, ecosistemas, economías, sociedades, culturas, servicios e infraestructuras debido a la interacción de los cambios climáticos o fenómenos climáticos peligrosos que ocurren en un lapso específico y a la vulnerabilidad de las sociedades o los sistemas expuestos a ellos. Los impactos también se denominan consecuencias y resultados. Los impactos del cambio climático sobre los sistemas geofísicos, incluidas las inundaciones, las sequías y la elevación del nivel del mar, son un subconjunto de los impactos denominados impactos físicos (IPCC, 2014).

PELIGRO

Acaecimiento potencial de un suceso o tendencia físico de origen natural o humano, o un impacto físico, que puede causar pérdidas de vidas, lesiones u otros efectos negativos sobre la salud, así como daños y pérdidas en propiedades, infraestructuras, medios de subsistencia, prestaciones de servicios, ecosistemas y recursos ambientales (IPCC, 2014). En el presente libro, el término peligro se refiere generalmente a sucesos o tendencias físicos relacionados con el clima o los impactos físicos de este.

PLANEACIÓN URBANA SUSTENTABLE

Ordenamiento, bajo criterios sustentables, del suelo urbano utilizado para regular su transformación o conservación; en donde además sirva para edificar la infraestructura y equipamiento necesarios para albergar la habitabilidad y las actividades propias del ser humano, conformadas en ciudades y asentamientos humanos (Hernández, 2010).

POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (PCG)

Este factor está considerado como representativo de la medida cuantitativa de los impactos relativos promediados globalmente del forzamiento radiativo de un gas particular. Se define como: “el forzamiento radiativo acumulado de las emisiones de una masa unitaria de gas en relación con un gas de referencia (CO₂), considerando tanto los efectos directos como de los indirectos, en un horizonte de tiempo especificado” (IPCC, 1996).

Los efectos directos se presentan cuando el gas en sí es un gas de efecto invernadero; el forzamiento radiativo indirecto se presenta cuando las transformaciones químicas que involucran al gas original producen un gas o gases que son de efecto invernadero, o cuando un gas afecta los tiempos de vida de otros gases en la atmósfera. El gas de referencia es el bióxido de carbono, por lo que las emisiones son ponderadas por el PCG; se miden en teragramos de equivalentes de bióxido de carbono.

RESILIENCIA

Es la capacidad de un sistema de absorber una perturbación y reorganizarse sufriendo cambios, pero manteniendo esencialmente la misma función, estructura e identidad (Ize Lema, 2016).

RIESGO

Potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro (IPCC, 2014). En el presente libro, el término *riesgo* se utiliza principalmente en referencia a los riesgos de impactos del cambio climático.

SUSTENTABILIDAD

Satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1997).

TRANSPORTE INTELIGENTE

Se define como la aplicación de información y tecnologías avanzadas para que el transporte alcance adecuada y completa seguridad y movilidad mientras se reducen los impactos ambientales generados por el sector (Research and Innovative Technology Administration, 2011).

USO DE SUELO

Acuerdos, actividades e insumos aplicados en un tipo determinado de cubierta terrestre (un conjunto de acciones humanas) con objetivos sociales, ambientales, urbanos y económicos para los que se gestionan las tierras (por ejemplo, habitabilidad, comercio, industria, agricultura, pastoreo, la extracción de madera, entre otros) (FAO, 2015).

VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La variabilidad del clima se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, entre otros) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa) (FAO, 2015).

VULNERABILIDAD

Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014).



Referencias

- AYYUB, Bilal M. (2018). *Climate-resilient infrastructure adaptive design and risk management*, EE UU, American Society of Civil Engineers.
- BUILDING RESEARCH ESTABLISHMENT (2014). *BREEAM. Communities technical manual*. Reino Unido, Bre.
- ____ (2015). *Methodology for energy and environmental building*. Reino Unido, Bre.
- CALDWELL, J.C. y T. Schindimayr (2002). "Historical population estimates: unraveling the concensus" en *Population and Development Review*, vol. 28 (2002), pp. 183-204.
- CÁMARA DE DIPUTADOS DEL H. CONGRESO DE LA UNIÓN (2012). "Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente" en *Diario Oficial de la Federación*, Dirección General de Servicios de Documentación, Información y Análisis. México, Gobierno de México.
- CMIC, Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (2011). *Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición*, [en línea]. Disponible en <http://www.fic.org.mx/OTTIC/CMIC/PMrcdCompleto.pdf>, consultado el 23 de febrero de 2020

- Celade-Cepal, Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía-Comisión Económica para América Latina y el Caribe () (2009). *Urbanización en perspectiva. Observatorio demográfico*, núm. 8. Santiago de Chile, ONU, Disponible en <https://www.cepal.org/es/publicaciones/7124-observatorio-demografico-america-latina-2009-migracion-internacional-demographic>, consultado el 13 de marzo de 2020.
- CFE, Comisión Federal de Electricidad (2014). *Informe anual 2014*. Gobierno Federal, México. Disponible en <http://www.cfe.gob.mx/inversionistas/Style%20Library/assets/pdf/InformeAnual.pdf>, consultado el 23 de marzo de 2020.
- CHEUNG MING, Fan Jor (2013). "Carbon reduction in a high-density city: A case study of Langham Place Hotel Mongkok Hong Kong" en *Renewable Energy*, vol. 50 (2013), pp. 433-440.
- CITIES ALLIANCE (2015). *Cities Alliance. Cities without slums*. Preparado para la alianza de las ciudades por el grupo de asentamientos humanos del Instituto Internacional para el Medio Ambiente y el Desarrollo. Disponible en http://www.citiesalliance.org/sites/citiesalliance.org/files/CIVIS_1_Spanish.pdf, consultado el 14 de abril de 2020
- CMM, CENTRO MARIO MOLINA para Estudios Estratégicos sobre Energía y Medio Ambiente (2014). *Programa de Acción Climática de la Ciudad de México 2014-2020*. México. Disponible en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/164914/PACCM-2014-2020completo.pdf>, consultado el 13 de agosto de 2020.
- Conavi, Comisión Nacional de Vivienda (2015). *Código de edificación de vivienda*, México, Gobierno de México.
- Conafor, Comisión Nacional Forestal (2012). *Bosques productivos*. México. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/documentos/PRESENTACION%20-%20BOSQUES%20PRODUCTIVOS.pdf>, consultado el 14 de mayo de 2020.
- _____ (2004). *Inventario nacional forestal y de suelos 2004-2009*. Guadalajara, Jalisco, México, Imprejal y Conafor.
- DEKKICHE, H. y A. Taileb (2016). "The Importance of Integrating LCA into the LEED Rating System", International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction. Disponible en <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1877705816301151?token=3E8AAA112A907C023A656AFCC0F681F21DF76C79AB8080704AF9521F504C2A0E47EEC5F0CAB8711E53E41B5662688922>, consultado el 30 de abril de 2020.
- DoF, *Diario Oficial de la Federación* (2013). *Acuerdo por el que se expide la Estrategia Nacional de Cambio Climático*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, Gobierno de México.
- DODMAN, D. (2009). "Blaming cities for climate change? An analysis of urban greenhouse gas emissions inventories" en *Environment and Urbanization*, vol. 21 (1), pp. 185-202.

- DONG, Huijuan et al. (2014). "Achieving carbon emission reduction through industrial & urban symbiosis: A case of Kawasaki" en *Energy*, vol. 64, pp. 277-286.
- EPA, Environmental Protection Agency. (2012). *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (TRACI) TRACI version 2.1*, U.S. EE UU: EPA.
- FAO, Food and Agriculture Organization (2013). *Afrontar la escasez de agua, un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*, Roma, Italia, FAO.
- _____ (2014). *El estado de los bosques del mundo*. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i3710s.pdf>, consultado el 13 d mayo de 2020
- _____ (2011). *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. Cómo gestionar los sistemas en peligro*, Roma, Italia, FAO.
- _____ (2015). *Glosario de la FAO sobre el cambio climático y la bioenergía*. Nueva York, EE UU, ONU.
- FERRARO, R., M. Gareis y L. Zulaica (2013). "Aportes para la estimación de la huella de carbono en los grandes asentamientos urbanos de Argentina" en *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, vol. 22(2), pp. 87-106. Disponible en <https://doi.org/10.15446/rcdg.v22n2.32770>, consultado el 14 de febrero de 2020.
- GALLI, Alessandro et al. (2012). "Integrating ecological, carbon and water footprint into a footprint family of indicators: definition and role in tracking human pressure on the planet", *Ecological Indicators*, vol. 16 (2012), pp. 100-112. Disponible en <http://dx.doi:10.1016/j.ecolind.2011.06.017>
- HARLAN SHARON, L. y M. Ruddell Darren (2011). "Climate change and health in cities: impacts of heat and air pollution and potential co-benefits from mitigation and adaptation" en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 3 (3), pp. 126-134.
- HERNÁNDEZ MORENO, Silverio (2010). *Diseño y manejo sustentable en edificación*, Toluca, México, UAEM.
- _____ (2012). *Introducción a la planeación de la vida útil en proyectos de arquitectura y edificación*, México, Plaza y Valdés.
- _____ (2015a). *Vida útil en el diseño sustentable de edificios*, México, Trillas.
- _____ (2015b). *Diseño por durabilidad en arquitectura y edificación*, México, Trillas.
- _____ (2015c). "Análisis comparativo por ciclo de vida de tres tipos de luminarias empleadas en los interiores de edificios", *Nova Scientia*, núm. 14, vol. 7 (2), pp. 538-559.
- HICKMAN, Robin, Olu Ashiru y David Banister (2010). "Transport and climate change: Simulating the options for carbon reduction in London" en *Transport Policy*, vol. 17, pp. 110-125.
- HICKMAN, R., S. Saxena y D. Banister (2008). *Breaking the Trend. Visioning and Backcasting for Transport in India and Delhi. Scoping Report*, London, Halcrow Group for the Asian Development Bank.

- IEA, International Energy Agency (2012). *CO₂ emissions from fuel combustion. Highlights*. Francia, International Energy Agency.
- INECC-Semarnat, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático y Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos*. México. [en línea]. Disponible en <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/download/495.pdf>, consultado el 14 de julio de 2020.
- ____ (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. México, INECC-Semarnat. [en línea]. Disponible en <http://unfccc.int/resource/docs/natc/mexbur1.pdf>, consultado el 14 de mayo de 2020.
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (2000). *Censo de Población y Vivienda 2000*. Disponible en <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/Proyectos/ccpv/cpv2000/default.aspx>, consultado el 14 de mayo de 2019.
- ____ (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*. Disponible en <http://www.censo2010.org.mx>, consultado el 14 de mayo de 2019.
- INE, Instituto Nacional de Ecología (2010). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero 1990-2010*. México, INE.
- ____ (2013). *Insumos preliminares para la coalición clima y aire limpio*. México, INE.
- ISO, International Standards Organization (1997). *Environmental management-Life Cycle Assessment – Principles and Framework-ISO 14040*. Suiza, ISO.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Contribución del Grupo de trabajo II al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, en Christopher B. Field, Vicente r. Barros, David Jon Dokken, Katharine Mach y Michael D. Mastrandrea (eds) *Cambio climático 2014: Impactos, adaptación y vulnerabilidad*, pp. 32. Suiza, IPCC. Disponible en https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar5_wgII_spm_es-1.pdf, consultado el 13 de febrero de 2020.
- ____ (1996). *Climate Change 1995: The Scientific Basis; Group I, 2nd Assessment Report*. Cambridge, WMO-UNEP-Cambridge University Press.
- ____ (2001). *Tercer informe de evaluación. Cambio climático 2001. La base científica. Parte de la contribución del Grupo de trabajo I al Tercer Informe de Evaluación*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Cambridge, United Kingdom and New York, EE UU, Cambridge University Press.

- _____ (2007). "Mitigation of Climate Change: Exit EPA Disclaimer Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change" en B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer (eds). *Climate Change 2007 Mitigation*. United Kingdom and New York, EE UU, Cambridge University Press.
- IPCC-GTI, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)-Grupo de Trabajo I (GTI) (1996). "Contribución del Grupo de Trabajo I (GTI) al Segundo Informe de Evaluación (SIE) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático" en J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg y K. Maskell (eds.) *Cambio Climático 1995: La Ciencia del Cambio Climático*, pág. 572. Cambridge, Reino Unido, Cambridge University Press.
- IZE LEMA, Irina (2016). *Resiliencia, glosario, conceptos: resiliencia costera, bibliografía*, México, Laboratorio Nacional de Resiliencia Costera.
- Jo, J. H., J. S. Golden y S. W. Shin (2009). "Incorporating Built Environment Factors into Climate Change Mitigation Strategies for Seoul, South Korea: A Sustainable Urban Systems Framework" en *Habitat International*, vol. 33 (3), pp. 267-275. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0197397508000647>, consultado el 13 de mayo de 2020.
- KENNEDY, Christopher A. et al. (2011). "Greenhouse Gas Emission Baselines for Global Cities and Metropolitan Regions" en *Cities and Climate Change*, pp. 15-54. Disponible en <http://documents1.worldbank.org/curated/en/613201468149671438/pdf/626960PUB0Citi000public00BOX361489B.pdf>, consultado el 13 de mayo de 2020.
- KLEMES, Jiri. (2015). *Assessing and Measuring Environmental Impact and Sustainability*. EE UU. Disponible <https://www.sciencedirect.com/book/9780127999685/assessing-and-measuring-environmental-impact-and-sustainability#book-info>, consultado el 14 de julio de 2020.
- LI Yangfan et al. (2011). "Integrating climate change factors into China's development policy: Adaptation strategies and mitigation to environmental change" en *Ecological Complexity*, vol. 8 (14), pp. 294-298.
- LOCKIE, Sean y Piotr Berebecky (2012). *Methodology to calculate embodied carbon of materials*. United Kingdom, RICS.
- MEZA, María del Carmen y José Moncada (2010). "Las áreas verdes de la ciudad de México: un reto actual. (Versión electrónica)" en *Scripta Nova*, vol. (14) p. 331. Disponible en <http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-331/sn-331-56.htm>, consultado el 13 de mayo de 2020.
- MILLER, G. (2007). *Ciencia ambiental: desarrollo sostenible, un enfoque integral*. México, Editores Internacional Thomson.

- MOLINA PASQUEL Y HENRÍQUEZ, Mario. (2014). "Expansión urbana y cambio climático", *Ciencia*, 65 (4), pp. 10-13. Disponible en https://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/65_4/PDF/ExpansionUrbana.pdf, consultado el 13 de mayo de 2019.
- NEILA, F. J., C. Bedoya y C. Britto (1999). "Arquitectura bioclimática y naturación urbana", en J. Briz (ed.), *Naturación urbana: cubiertas ecológicas y mejora medioambiental*, pp. 241- 266), España: Mundi-Prensa.
- NGUYEN, Binh K. y Altan Hasim. (2011). "Comparative review of five sustainable rating systems". 2011 International Conference on Green Buildings and Sustainable Cities, *Procedia Engineering*, vol. 21 (2011), pp. 376-386.
- OBATA, S. H. et al. (2019). "LEED certification as booster for sustainable buildings: Insights for a Brazilian context, Resources, Conservation and Recycling", vol. 145, p. 170-178. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.02.037>, consultado el 13 de mayo de 2019.
- OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development (2018). "Municipal waste (indicator)". Disponible en <https://data.oecd.org/waste/municipal-waste.htm>, consultado el 13 de septiembre de 2020.
- ONU, Organización de Naciones Unidas (2013). *World Urbanization Prospects*. [en línea]. Disponible en http://www.un.org/esa/population/publications/wup2001/WUP2001_CH6.pdf, consultado el 23 de mayo de 2019.
- _____ (2015a). *The 2030 Agenda for Sustainable Development*, EE UU, ONU.
- _____ (2015b). *Department of Economic and Social Affairs. Population Dynamics. Population Estimates and Projections Section. World Population Prospect. The 2015 revision*. Disponible en http://esa.un.org/wpp/unpp/panel_population.htm, consultado el 14 de mayo de 2019.
- _____ (2017). *Nueva agenda urbana* (versión en español), México, ONU. Disponible en <https://onuhabitat.org.mx/index.php/la-nueva-agenda-urbana-en-espanol>, consultado el 13 de mayo de 2020.
- _____ (1998). *Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>, consultado el 13 de septiembre de 2019.
- _____ (1997). *Informe Brundtland; Informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. Nueva York, Estados Unidos, ONU.
- ONU-Hábitat (2014). *Reporte nacional de movilidad urbana en México 2014-2015*. México, Senado de la República y Grupo Mexicano de Parlamentarios para el Hábitat.
- _____ (2011). *Informe mundial sobre asentamientos humanos. Las ciudades y el cambio climático: orientaciones para políticas*. Brasil, Earthscan. Disponible en <https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/538-spa-ed2011-sum.pdf>, consultado el 13 de mayo de 2019.

- _____. (2012). *Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana*. Disponible en: http://www.cinu.mx/minisitio/Informe_Ciudades/SOLACC_2012_web.pdf, consultado el 13 de mayo de 2019.
- _____. (2011). *Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011*, EE UU, Earthscan.
- OZORHON, Beliz (2013). "Response of Construction Clients to Low-Carbon Building Regulations" en *Journal of Construction Engineering and Management*, vol. 139, pp. 1-10. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000768](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000768).
- PNUMA, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2002). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial 2002 GEO-3*. España, Ediciones Mundi-Prensa.
- RASHA, A. M. y A. F. Alshimaa (2017) "The Applicability of LEED of New Construction (LEED-NC) in the Middle East, Procedia Environmental Sciences" en *Procedia Environmental Sciences*, vol. 37, pp. 572-583. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878029617300440?via%3Dihub>, consultado el 13 de febrero de 2019.
- RITA, Research and Innovative Technology Administration (2011). *The Intelligent Transportation Systems (ITS)*, EE UU, Department of Transportation (USDOT).
- ROBERTS, Brian y Trevor Kanaley (2006). *Asian Development Bank. Urbanization and Sustainable in Asia: Case Studies of Good Practice*. Disponible en <http://www.adb.org/sites/default/files/pub/2006/urbanization-sustainability.pdf>, consultado el 13 de diciembre de 2019.
- ROJAS, Leonora y Verónica Garibay (2007). *Partículas, aeropartículas o aerosoles ¿Hacen daño a la salud? ¿Qué hacer?* México, INE.
- Sedema, Secretaría del Medio Ambiente (2008). *Inventario de emisiones. Gases de efecto invernadero. Zona Metropolitana del Valle de México, 2006*. México, Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México.
- Semarnat, Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012). *Informe de la situación del medio ambiente en México: Compendio de estadísticas ambientales, indicadores clave y de desempeño ambiental*. México. Disponible en http://apps1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_12/00_intros/introduccion.html, consultado el 13 de mayo de 2019.
- _____. (2013). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave y de desempeño ambiental*. México, Gobierno de México.
- _____. (2014). *Teoría y Conceptos generales para elaborar inventarios verificables de emisiones de gases de efecto invernadero*. México, Gobierno de México.
- _____. (2015). *Guía para la elaboración del manifiesto de impacto ambiental del sector inmobiliario*. México, Gobierno de México.

- Sener, Secretaría de Energía (2011). *Indicadores de eficiencia energética en el sector residencial*. México, Gobierno de México.
- _____. (2014). *Eficiencia energética*. México, Subsecretaría de Planeación, Secretaría de Energía, Gobierno de México [en línea]. Disponible <http://www.energia.gob.mx/webSener/portal/Default.aspx?id=2617>, consultado el 24 de marzo de 2019.
- SORENSEN, M. et al. (1998). *Manejo de las áreas verdes urbanas: documento de buenas prácticas*. Washington, D.C. Disponible en http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/80827/mod_resource/content/1/Manejo%20de%20las%20areas%20verdes%20urbanas_BM_1997.pdf, consultado el 23 de febrero de 2019.
- STYLES, B. (1993). "Genus Pinus: A Mexican preview" en T.P. Ramamoorthy, R. Bye, A. Lot y J. Fa (eds.) *Biological diversity of Mexico: Origins and distribution*, p. 67. Nueva York, Oxford University Press.
- SUZER, O. (2015). "A comparative review of environmental concern prioritization: LEED vs other major certification systems" en *Journal of Environmental Management*, vol. 154 pp. 266-283. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.02.029>, consultado el 24 de marzo de 2019.
- THOMAS GREGORY, O., Walker Ian y Musselwhite Charles. (2014). "Grounded Theory analysis of commuters discussing a workplace carbon-reduction target: Autonomy, satisfaction, and willingness to change behaviour in drivers, pedestrians, bicyclists, motorcyclists, and bus users" en *Transportation Research*, part F-26 (2014), pp. 72-81.
- UNESCO, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (2003). *Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recurso Hídricos en el Mundo*. París, Francia, Mundi Prensa.
- UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL. (2014). *LEED USA™*, versión 4.0, EE UU, Green Boulding Council.
- URBANO LÓPEZ DE MENESES, Beatriz (2013). "Naturación urbana: un desafío a la Urbanización2 en *Revista Chapingo*, serie ciencias forestales y del ambiente, vol. 19 (2), pp. 225-235. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/629/62927563004.pdf>, consultado el 13 de mayo de 2019.
- VAN DER WERF, G. R., et al. (2009). "CO₂ emissions from forest loss" en *Nature Geoscience*, vol. 2 (11), pp. 737-738. Disponible en <https://jacksonlab.stanford.edu/publication/co2-emissions-forest-loss>, consultado el 13 de mayo de 2019.
- WELZIG, María y Steixner Gerhard (2012). *Housing Density*. New York, Springer Wien.
- WILCOX, Jennifer. (2012). *Carbon Capture*. New York, Springer Science+Business Media, LLC. Disponible en <https://www.springer.com/gp/book/9781461422143>, consultado el 30 de octubre de 2019.
- WB, World Bank (2010). *World Development Report: Development and Climate Change*, Washington DC: The International Bank for Reconstruction and Development. Disponible en <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/4387>, consultado el 23 de mayo de 2019.

- _____ (2015). *Desarrollo urbano. Datos y cifras*, [en línea]. Disponible en <http://www.bancomundial.org/temas/cities/datos.htm>, consultado el 13 de marzo de 2020.
- YUSOF, N.A., H. Awang, H. y M. Iranmanesh (2017). "Determinants and outcomes of environmental practices in Malaysian construction projects" en *Journal of Cleaner Production*, vol. 156, núm. 1, pp. 345-354.
- ZHEN Wang, Bao et al. (2018). "Assessment and management of air emissions and environmental impacts from the construction industry" en *Journal of Environmental Planning and Management*. [en línea]. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/324045949_Assessment_and_management_of_air_emissions_and_environmental_impacts_from_the_construction_industry, consultado el 13 de marzo de 2020.
- Zou, Y. (2019). "Certifying green buildings in China: LEED vs. 3-star" en *Journal of Cleaner Production*, pp. 880-888. [en línea]. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.204>, consultado el 14 de mayo de 2020.



Reducción de la huella de carbono en las ciudades mexicanas

Enfoque urbano-arquitectónico

de la autoría de Silverio Hernández Moreno, José Antonio Hernández Moreno y Bianca Gilliana Alcaraz Vargas, se terminó de editar el 15 de febrero de 2021.

Juan Manuel García Guerrero

Diseño de forros y formación

Iván Pérez González

Corrección de estilo y ortotipográfica

Patricia Vega Villavicencio

Coordinación editorial

Por disposición del Reglamento de Acceso Abierto de la Universidad Autónoma del Estado de México se publica la versión PDF de este libro en el Repositorio Institucional de la UAEM.



El presente libro tiene por objeto coadyuvar en la adaptación y mitigación ante el cambio climático, derivado de las emisiones de gases de efecto invernadero, a las ciudades mexicanas desde un enfoque urbano-arquitectónico, mediante la reducción de la huella de carbono, para revertir las tendencias de impactos negativos, desde la planeación y diseño, hasta la construcción y mantenimiento de la infraestructura de las grandes ciudades, es decir, en todo su ciclo de vida.