



Gabriel Gómez-Azpeitia
Adalberto Tejeda-Martínez
Luis Carlos Herrera-Sosa



PUERTABIERTA
EDITORES

ARQUITECTURA, CONFORT Y CAMBIO CLIMÁTICO

Antecedentes, bases, cálculos
y ejercicios prácticos
con *bioclimarq*²⁰²³

Gabriel Gómez-Azpeitia
Adalberto Tejeda-Martínez
Luis Carlos Herrera-Sosa



PUERTABIERTA
E D I T O R E S

Consejo Veracruzano de Investigación Científica
y Desarrollo Tecnológico (COVEICYDET)

Programa de Estudios de Cambio Climático
de la Universidad Veracruzana (PECCUV)

Descarga la edición completa

<https://bit.ly/4b7ISl7>

Descarga el software *bioclimarq*²⁰²³

<https://bit.ly/4d2SWfQ>

ÍNDICE

PRIMERA PARTE. ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS

1. Introducción	7
Referencias	21
2. La atmósfera, el clima y sus variables	27
2.1 La atmósfera	27
2.2 Clima: pasado, presente y futuro	32
2.3 Variables atmosféricas	43
Referencias	64
3. El bioclima	68
3.1. El clima, los seres vivos y la civilización	68
3.2. Bioclimática	70
3.3 Confort térmico	77
3.4. El rol del habitante	127
Referencias	133
4. Hábitat adaptado	141
4.1 Bioclimática aplicada	141
4.2 Clima urbano	204
4.3 Efectos del cambio climático	216
Referencias	222

SEGUNDA PARTE. CÁLCULOS Y EJERCICIOS PRÁCTICOS

CON *bioclimarq*²⁰²³

5. <i>bioclimarq</i>, software de apoyo para el diseño	232
5.1 Descripción del programa	232
5.2 Métodos de cálculo y estimación de datos	246

5. 3 Guía del usuario	274
Referencias	345
Apéndices	350
A.1 Variables, abreviaturas y símbolos utilizados	350
A.2 Siglas de entidades y conceptos citados	356
A.3 Unidades de medición, prefijos y equivalencias	358
A.4 Ecuaciones citadas	361
A.5 Ecuaciones, conversiones y constantes no incluidas en el texto.....	387
Agradecimientos.....	389
Sobre los autores.....	390
Sobre este libro.....	392
About this book.....	392

PRIMERA PARTE
ANTECEDENTES Y BASES TEÓRICAS

1. INTRODUCCIÓN

Como su nombre lo indica, el alcance de este libro comprende tres temas importantes: la arquitectura, el confort térmico y el cambio climático. La disciplina que los articula es la bioclimática, cuyo propósito es la aplicación práctica de conocimientos emanados de la bioclimatología y la termodinámica al diseño y construcción de espacios habitables, privilegiando para ello el uso de medios de climatización a base de energías pasivas, limpias y de bajo impacto, y reservando el uso de energías activas sólo para alguna tarea residual.

Además de divulgar los conocimientos propios de la bioclimática, otro propósito fundamental de este libro es mostrar el gran potencial que tiene el diseño arquitectónico para reducir la huella de carbono del sector de edificios, específicamente en cuanto a la climatización de los espacios habitables, y a la vez que esos espacios se adapten más fácilmente al cambio climático. Para ello, el libro está pensado como apoyo para los arquitectos y diseñadores en sus decisiones de proyecto, a fin de que puedan lograr las mejores condiciones posibles de confort en ambientes específicos, a la vez que incidir en las dos principales tareas para enfrentar el cambio climático: la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la adaptación a este fenómeno.

Así, el libro consta de dos partes en las que se incluyen tanto procedimientos prácticos como sus fundamentos técnicos o científicos, de modo que puede leerse o revisarse siguiendo el orden en que está escrito, o usar la herramienta *bioclimarq* y el resto del libro emplearlo sólo como material de apoyo. Entonces, la segunda parte (*Cálculos y ejercicios prácticos con bioclimarq*²⁰²³) es más útil para

quien domina las bases de la bioclimática, mientras que la primera (*Antecedentes y bases teóricas*) es fundamental para quienes se están iniciando en esta disciplina. Cualquiera que sea el orden en que se revisen los contenidos, los autores esperamos que sean de utilidad para los lectores y que su consulta no resulte abrumadora.

Ahora bien, aunque el término “huella de carbono” se ha popularizado a últimas fechas, merece ser aclarado. Designa al volumen total de GEI emitidos de manera directa o indirecta por parte de un individuo, organización, evento o producto, en este caso por la construcción y operación de edificios. Los GEI presentes en la atmósfera tienen la particularidad de permitir el paso de luz y radiación de onda corta proveniente del Sol, pero son opacos al paso de radiación de onda larga –radiación calorífica– que emite la superficie de la Tierra. Algunos GEI como el vapor de agua (H_2O en fase gaseosa), el ozono (O_3), el dióxido de carbono (CO_2) y el metano (CH_4) entre otros, se fueron incorporando a la atmósfera de manera natural por la actividad volcánica o por la evapotranspiración de la masa vegetal del planeta, entre otros fenómenos, pero durante los últimos doscientos años el aumento de su concentración se debe a actividades humanas, especialmente relacionadas con la quema de combustibles fósiles, ampliamente usados para la generación de energía, como quedó demostrado desde el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC (2007).

La historia del descubrimiento, el desarrollo de evidencias y la publicación de alertas sobre los riesgos de un eventual cambio climático como consecuencia del incremento de la huella del carbono no es reciente. Se remonta a la segunda década del siglo XIX, cuando el físico matemático francés Jean-Baptiste Joseph Fourier calculó que un planeta del tamaño de la Tierra, situado a nuestra distancia del Sol, debería ser mucho más frío. Intuyó entonces que algo en la atmósfera debía estar actuando como una especie

de manta aislante (Fourier J.-B. , 1824)¹. Esa manta resultó ser el dióxido de carbono y el vapor de agua en la atmósfera que atrapan la radiación infrarroja (calor) emitida por la superficie terrestre y evitan que escape del planeta, según concluyó la científica estadounidense Eunice Foote a partir de experimentos hechos a mediados del siglo XIX (Foote, 1856). A la misma conclusión llegó el físico inglés John Tyndall pocos años después (Tyndall J. , 1861) y (1863), identificando el efecto invernadero natural de la Tierra y advirtiendo que ligeros cambios en la composición atmosférica podrían provocar alteraciones climáticas.

Tras lo publicado por Tyndall, A. H. Phillips (1882) cometió un error colosal al calcular el plazo en que tales alteraciones climáticas podrían originar eventos catastróficos, a partir de la tasa de emisión de gases provenientes de la industria: ¡dieciocho años!, es decir, hacia 1900. Periódicos de la época comentaron el artículo de Phillips como una “curiosidad”, quizás morbosa, o de plano como una burla.² Ante ello, pocos científicos persistieron en ahondar en el tema, entre los que habría que destacar a Svante Arrhenius (1896) y a Thomas Chrowder Chamberlin (1897) cuyos cálculos replantearon el plazo fatal a miles de años. Después, Arrhenius (1908) actualizaría sus cálculos al advertir que la tasa de quema de carbón era significativamente más alta que la que había medido en 1896, por lo que adelantó el horizonte crítico a centurias.

Es importante señalar que ese rápido incremento de CO₂ observado en escasos doce años (1896-1908) aún no incorporaba la

1. El escrito original de Fourier fue publicado nuevamente, con ligeras diferencias, en 1827 (Fourier J.-B. , 1827). A fines del siglo XIX fue publicado nuevamente como parte de sus obras completas (Fourier J. , 1890). Una traducción en inglés está disponible en: <https://geosci.uchicago.edu/~rtp1/papers/Fourier1827Trans.pdf>.

2. Tal es el caso del prestigiado New York Times que ironizó la advertencia de Phillips diciendo que: “es probable que se trate de un error de imprenta, ya que, a menos que el consumo de cigarrillos aumente rápidamente de forma inesperada, la atmósfera debería seguir siendo respirable hasta 1910, o incluso 1912. En esta última fecha, toda la humanidad habrá perecido y nada excepto las plantas más resistentes vivirán en la superficie de la tierra.” (The Atmosphere, 1883).

emisión de gases proveniente de vehículos automotores a gasolina, artefactos que no tardarían en generalizarse y apropiarse de la dinámica social y económica del siglo XX. Como fuera, en ese momento el asunto no parecía tener mayor relevancia en la escala temporal humana. Eso tal vez explique por qué la primera mitad del siglo XX transcurrió entre el escepticismo y el desdén, con la notable excepción de Guy Stewart Callendar (1938) quien reiteró las estimaciones de sus antecesores. Así pues, no sería sino hasta los tiempos de la posguerra en que Gilbert Norman Plass (1956) habría de esbozar por primera vez una teoría del cambio climático derivado de la presencia del CO_2 en la atmósfera. Poco después, Charles David Keeling (1960) aportó una herramienta fundamental para mostrar el incremento de la huella de carbono, la famosa “curva Keeling” plasmada en una gráfica cartesiana que correlaciona la concentración de CO_2 y una línea de tiempo (fig. 1.1).

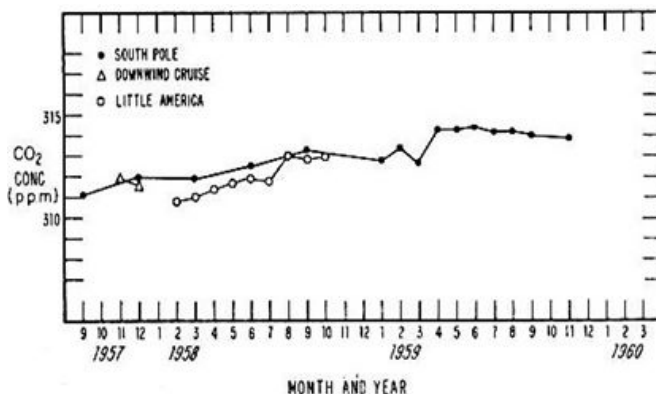


Figura 1.1. Variación de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera en el hemisferio Sur. Fuente: (Keeling , 1960)

Las primeras *curvas Keeling* publicadas abarcaban sólo dos años (1958-1959, fig. 1.1). Cuando pudieron agregarse los datos de periodos más largos resultó evidente que el incremento en la concentración de CO_2 y otros GEI era bastante pronunciado (Study of Man's Impact on Climate (SMIC), 1971) (fig. 1.2).

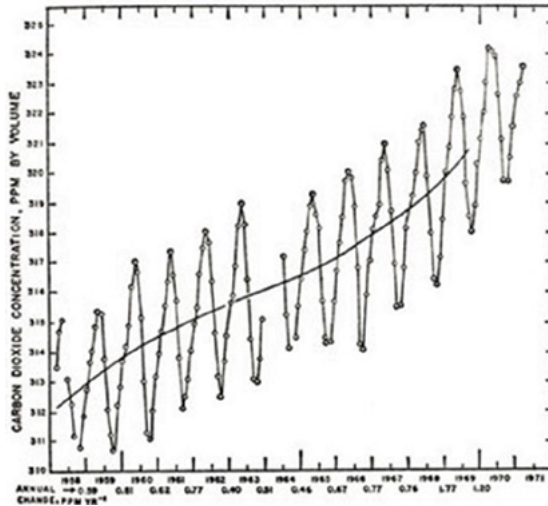


Figura 1.2. *Curva Keeling* de un periodo de trece años (1958-1971) de mediciones tomadas en Mauna Loa, Hawái. Fuente: (Study of Man's Impact on Climate (SMIC), 1971, pág. 234)

Aun así, el escepticismo seguía constituyendo una barrera que frenaba la posibilidad de acciones contundentes para detener la tendencia observada. Se necesitaban más datos, lo más antiguos posible. La respuesta a esa necesidad provino del análisis de núcleos de hielo extraídos de los casquetes polares de Groenlandia y la Antártida, que contienen burbujas de aire atrapado hace miles de años. Los resultados empezaron a publicarse a partir de 1980 (Delmas, Ascencio, & Legrand, 1980) (Werner, Oeschger, & Stauffer, 1980). Pero fue el núcleo extraído del lago Vostok en la Antártida rusa, el que habría de despejar las dudas. El volumen 329 (octubre 1987) de la revista *Nature* incluyó tres artículos sobre tan importante hallazgo. Uno de ellos (Barnola, Raynaud, Korotkevich, & et. al., 1987), demostraba categóricamente el estrecho vínculo entre el CO₂ y la temperatura durante los últimos 160 mil años. La *curva Keelling* que ilustra los resultados de la pesquisa incluyó una novedad trascendental: una curva adicional con datos

de temperatura atmosférica reconstruida a partir de mediciones de deuterio.³ Como lo muestra la figura 1.3, el ajuste entre las curvas de concentración de CO₂ y de temperatura atmosférica es inobjetable.

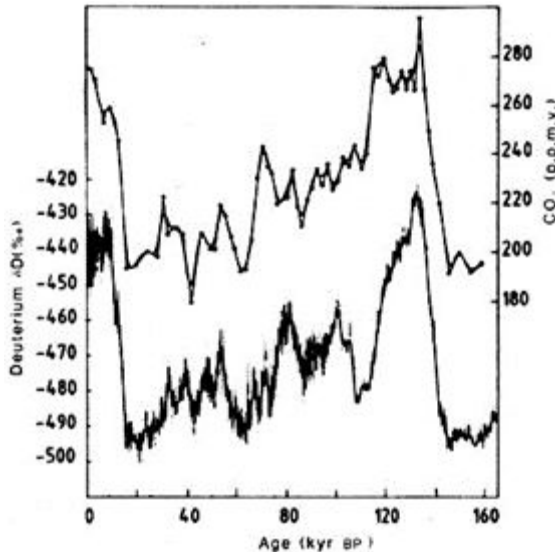


Figura 1.3. *Curva Keeling* con datos extraídos de un núcleo de hielo del lago Vostok, correspondientes a un periodo de 160 mil años. La curva superior corresponde a la concentración de CO₂. La curva inferior corresponde a la temperatura atmosférica. La línea de tiempo transcurre de derecha a izquierda. Fuente: (Barnola, Raynaud, Korotkevich, & et. al., 1987, pág. 410)

Ante estas evidencias, el mundo académico empezó a desterrar su escepticismo y trató de empujar a otros sectores a tomar conciencia. Sin embargo, el tema seguía siendo ajeno para la gran mayoría de la población mundial. Y los grandes intereses económicos y geopolíticos alrededor del petróleo constituyeron una poderosa fuente de rechazo. Entonces dos agencias de la ONU, la Organización Meteorológica Mundial (*World Meteorological Or-*

3. El deuterio o *hidrógeno pesado* (²H) es un Isótopo estable del hidrógeno con una abundancia en la Tierra de 0.0156 %: uno de cada 6,500 átomos de hidrógeno es deuterio.

ganization, WMO por sus siglas en inglés) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), integraron un cuerpo de expertos cuya tarea sería facilitar evaluaciones integrales del estado de los conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos sobre el cambio climático, sus causas, posibles repercusiones y estrategias de respuesta. Así, en 1988 se formalizó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC por sus siglas en inglés) (IPCC, 2022 b.). De entonces a la fecha y no sin tropiezos, el trabajo del IPCC ha sido intenso, metódico y aleccionador. Sus seis reportes de evaluación publicados hasta 2023 han llegado a conclusiones con un alto nivel de confianza, acerca del origen antropogénico de la huella de carbono y de la inminencia de sus efectos catastróficos (fig. 1.4).

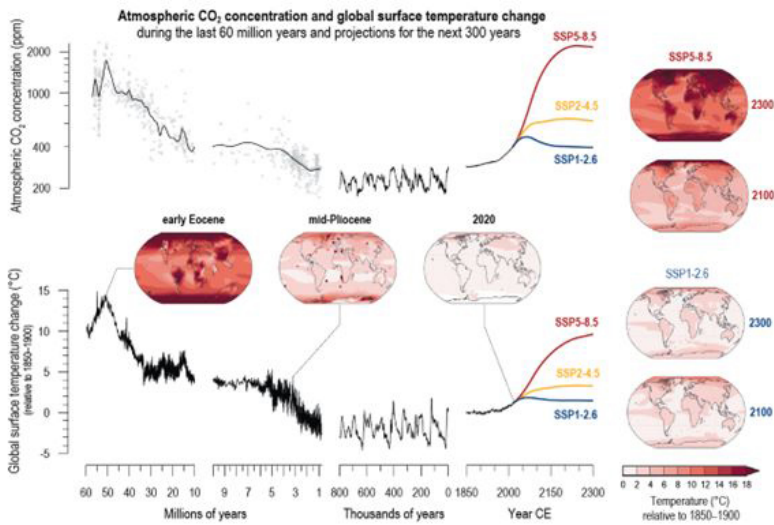


Figura 1.4. *Curva Keeling* elaborada por el IPCC con la concentración atmosférica de CO₂ y el cambio global de la temperatura superficial de la Tierra durante los últimos 60 millones de años y proyecciones para los próximos 300. Fuente: Sexto Informe de Evaluación del Grupo I del IPCC (Bases físicas) AR6-GW1 (Arias, 2021, pág. 44)

El hecho es que, a pesar de las advertencias del IPCC, las emisiones antropogénicas netas⁴ de GEI han seguido aumentando en los principales sectores económicos, incluyendo por supuesto, el sector de edificios. En 2019, las emisiones globales de GEI directas e indirectas⁵ atribuibles a la construcción, renovación y operación de los edificios representaron el 22% del total emitido (fig. 1.5). Esa cifra es mayor entre un 50 % y un 55 % respecto a la del año 1990, debido mayormente al incremento en la superficie construida per cápita, al crecimiento de la población y a un mayor uso de electricidad y calor de alta emisión de GEI para la operación de los edificios. Estos números corresponden a promedios globales pero, desde luego, existen grandes diferencias en las diferentes regiones del planeta (IPCC, 2022 a.).

En este contexto, las opciones de mitigación tendientes a lograr emisiones netas de cero GEI en el sector de edificios pueden ser un factor relevante en el esfuerzo integral para combatir el problema del cambio climático. Fueron planteadas por primera vez en 2007 (IPCC, 2007), y su más reciente actualización aparece en el Sexto Informe de Evaluación del Grupo III (Mitigación) AR6-GWIII (IPCC, 2022 a.) (tabla 1.1).

4. El concepto de emisión neta comprende a todo el proceso involucrado en la generación de GEI así como a su cadena de valor, incluyendo por lo tanto las acciones de compensación que al final dan un balance determinado. El empeño puesto en el Acuerdo de París de 2015, como parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC por sus siglas en inglés), es que se debe alcanzar un balance neutro, es decir, emisiones netas cero de GEI hacia 2050 (UNFCCC, 2022).

5. Las emisiones directas corresponden a la autoproducción de electricidad y calor in situ y al ciclo de vida del cemento y el acero utilizado en la construcción y/o renovación del edificio. Las emisiones indirectas comprenden las generadas por la producción de electricidad y calor de fuentes externas al sitio (IPCC, 2022 a.).

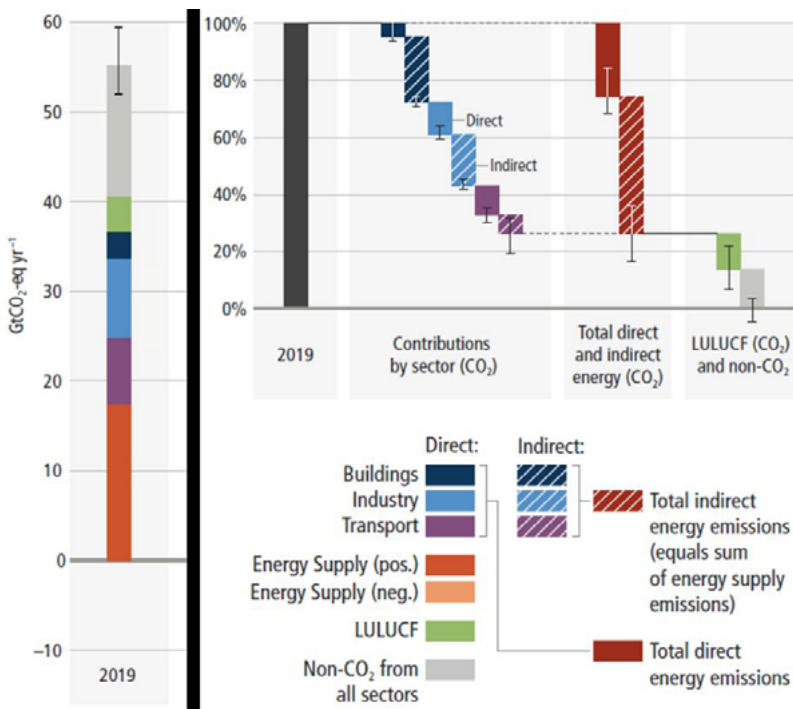


Figura 1.5. Emisión de GEI por sectores económicos en 2019 y posibles vías de mitigación hacia una emisión neta cero de CO₂. Fuente: Adaptado del Sexto Informe de Evaluación del Grupo III del IPCC (Mitigación) AR6-GW3 (IPCC, 2022 a., pág. 31)

De conformidad con los escenarios globales considerados por el IPCC (2022 a.), se proyecta que si se aplican políticas ambiciosas en cuanto a suficiencia, eficiencia y energía renovable, y estas políticas se implementan de manera efectiva, los edificios, tanto los que sean renovados como los de nueva construcción, estarán en posibilidad de contribuir al logro de los objetivos de desarrollo sostenible⁶ hacia 2030 y de mitigar hasta el 61 % de sus emisiones globales en 2050. Las políticas poco ambiciosas, en cambio,

6. Los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) integran la nueva agenda de desarrollo sostenible impulsada por la ONU y adoptada por los líderes mundiales en 2015. Su finalidad es erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar prosperidad para todos. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

aumentan el riesgo de retener el carbono de los edificios durante décadas, postergando la meta de neutralidad de emisiones en el sector. Por ello, la década 2020-2030 es fundamental para acelerar el aprendizaje de conocimientos técnicos, desarrollar la capacidad técnica e institucional, establecer las estructuras de gobernanza adecuadas, garantizar el flujo de financiación y desarrollar las habilidades necesarias para aprovechar plenamente el potencial de mitigación de los edificios (IPCC, 2022 a.).

Tabla 1.1. Opciones de mitigación de emisiones de GEI en el sector de edificios.

Fases	Opciones de mitigación
Diseño	Mejoramiento de los edificios existentes con enfoque de eficiencia energética Envoltentes de edificios nuevos y a renovar con elementos de climatización pasiva (p. ej. cubierta verde, cubierta fría, etc.) Ciudades compactas Racionalización del espacio habitable Diseño arquitectónico que gestione la tipología, la forma y la multifuncionalidad de los edificios para permitir el ajuste en cuanto a tamaño, a su adaptación al clima futuro y a las necesidades cambiantes de los habitantes. Planificación de la ciudad que evite la isla de calor urbana (p. ej. con suficientes áreas verdes, etc.)
Construcción	Cambio en los métodos de construcción y economía circular Cambio en los materiales de construcción de baja emisión de GEI, especialmente mediante un mayor uso de productos de madera cultivada sosteniblemente Envoltentes de edificios nuevos y a renovar energéticamente eficientes
Operación	Cambio hacia el uso de energías renovables que eviten la demanda de servicios de energía externos Iluminación, aparatos electrodomésticos y equipos energéticamente eficientes Calefacción, ventilación y aire acondicionado eficientes Producción y uso de energías renovables in situ y en las cercanías Prácticas sociales resultantes en ahorro de energía Cambios en estilo de vida y de comportamiento, especialmente en cuanto a la optimización del uso de los edificios
Eliminación	Reciclaje de edificios sin uso para evitar la ocupación de terrenos adicionales así como la utilización de materiales intensivos en GEI Reutilización y reciclaje de materiales de construcción

Fuente: Adaptado de Sexto Informe de Evaluación (2022) del Grupo III (Mitigación) del IPCC (IPCC, 2022 a., págs. 34-35, 42, 45).

En cuanto a las consecuencias del cambio climático, el propio IPCC (2022 c) afirma, con niveles de confianza muy altos, que este fenómeno ha afectado negativamente la salud física de las personas en todo el mundo –y la salud mental en algunas regiones–, al grado de que los episodios de calor extremo –mismos que se han intensificado en las ciudades, incluidas las olas de calor– han provocado mortalidad y morbilidad humana. A nivel mundial, la exposición de la población a las olas de calor seguirá aumentando con el calentamiento adicional, con fuertes diferencias geográficas en la mortalidad relacionada con el calor sin una adaptación adicional. De ahí que se espere un incremento en las necesidades de energía para climatización de edificios, de no adoptarse medidas y técnicas como las propuestas en este libro. Bajo este último supuesto, se estima que para la segunda mitad de este siglo las zonas urbanas de clima cálido de México deberán incrementar los consumos de energía para climatización de interiores en aproximadamente un 50% con respecto al presente. Pero hay un fenómeno adicional que será descrito en el capítulo 4, la isla urbana de calor, que podría significar un consumo adicional de entre 10 y 20 puntos porcentuales (Tejeda-Martínez et al., 2022). Estas cifras no son privativas de México; para las ciudades costeras del Mediterráneo, por ejemplo, el aumento en climatización artificial de las edificaciones por efectos de la isla urbana de calor representa actualmente entre un 18 y un 28 % (Salvati et al., 2017).

Lo anterior –las necesidades de mitigar emisiones de GEI y de adaptarse al cambio climático global y al urbano– abre a los profesionales de la planeación, proyecto, construcción y operación de edificios, un mercado promisorio en el futuro inmediato, pues sólo las acciones de eficiencia energética contempladas en proyecto y materializadas en la construcción, representan un potencial de abatimiento del 42 % de la emisión neta de GEI del sector edificios para 2050 (IPCC, 2022 a.). Sin embargo, para con-

quitar ese mercado es necesario que tales profesionales tengan a su alcance herramientas que les apoyen en la toma de decisiones de proyecto.

Desde el ámbito académico han surgido herramientas útiles en la formación de arquitectos expertos en el ahorro de energía, el confort térmico de los habitantes y la sostenibilidad de los edificios⁷. Algunas de estas herramientas no constituyen sistemas excesivamente complejos y pueden distribuirse de manera gratuita. Este es el caso de *bioclimarq*, un libro de Excel que le da origen y estructura al presente libro. *bioclimarq*²⁰²³ es una herramienta didáctica y de trabajo desarrollada desde fines del siglo pasado, y resuelta en secciones independientes que fueron articulándose entre sí poco a poco. Empezaron a tomar la forma que hoy tienen hacia fines del primer decenio del XXI, hasta que en 2016 alcanzaron una operatividad aceptable. Como parte de este libro se incluye la versión 2023, ampliada y optimizada, la cual puede descargarse en: [bioclimarq²⁰²³](#)

La herramienta empezó a desarrollarse como apoyo didáctico a los estudiantes del posgrado en Arquitectura Bioclimática de la Universidad de Colima, en México, y desde 2001 de la Escuela de Arquitectura y Diseño ISTHMUS de Panamá. En sus diversas etapas de desarrollo fue usada en varios cursos y diplomados impartidos en universidades y asociaciones gremiales de México, Panamá, Colombia y España. La integración alcanzada en 2016 permitió ampliar los fines didácticos por lo que ahora puede ser usada también por arquitectos, urbanistas y diseñadores en la toma de decisiones basadas en el análisis del clima, las exigencias de ahorro energético y confort térmico y las expectativas de cambio climático, a las que cada uno de sus proyectos se enfrenta.

7. Por ejemplo, e-CLIM: Análisis de clima y confort (Evans, 2004); BAT: Bioclimatic Analysis Tool (Fuentes Freixanet & Rincón Martínez, 2016); y CLIMANALISIS: Análisis climático para diseño de edificaciones (González Cruz, 2019).

La herramienta se divide en tres secciones:

1. *Caracterización climática*; resume las condiciones climáticas anuales y estacionales del sitio en que se pretende erigir el proyecto, con el fin de hacer manejable y entendible la gran cantidad de datos registrados. Esta sección requiere que el usuario introduzca información geográfica y climática básica de cada sitio.
2. *Diagnóstico de confort térmico*, donde las conclusiones de la sección anterior se comparan con diferentes parámetros de confort térmico —como la norma 55 de ANSI/ASHRAE (2021) o las cartas bioclimáticas de Olgyay (Olgyay, 1963), Givoni (Givoni, 1998) y otros—. El producto de esta sección es un resumen de los requerimientos bioclimáticos básicos para el proyecto (enfriar, calentar, humidificar, deshumidificar), así como de las estrategias generales de bioclimatización a seguir, como optimizar la ventilación, incorporar masa térmica a la estructura del edificio, propiciar o bloquear el soleamiento, o incluso disponer de equipos de aire acondicionado o calefacción, entre otras. Este diagnóstico puede efectuarse en términos actuales o para los escenarios de cambio climático proyectados hacia mediados y finales de este siglo. Esta sección requiere que el usuario introduzca información de usos y costumbres de cada sitio, relativos al tipo de vestimenta, rutinas de operación de ventanas y uso de climatización artificial.
3. *Recomendaciones bioclimáticas para el diseño*, en la que se retoman los requerimientos y estrategias de bioclimatización del apartado anterior para determinar tácticas particulares de carácter arquitectónico y/o constructivo con base en los métodos de Mahoney (Koenberger, Mahoney, & Evans, 1971) y de Serra y Coch (Serra Florensa & Coch Roura, 1995), que determinan objetivos de forma general,

proporción, disposición, consistencia y funcionamiento de los elementos arquitectónicos, constructivos y de instalaciones del edificio a proyectar.

Los fundamentos teóricos de estos tres apartados en que se organizan las hojas de cálculo de *bioclimarq*, se desarrollan en el presente libro, cuya estructura sigue la misma línea argumental, resuelta en cinco capítulos:

1. *Introducción*
2. *La atmósfera el clima y sus variables*. Descripción general de la envolvente gaseosa del planeta, el concepto de clima y su evolución, y el manejo de las variables atmosféricas
3. *El bioclima*. Revisión de los efectos del clima en los seres vivos, antecedentes de la biometeorología y la bioclimatología humana, modelos explicativos de la sensación de confort térmico e instrumentos de evaluación bioclimática aplicables al proyecto arquitectónico y urbano.
4. *Hábitat adaptado*. Esbozo histórico de la bioclimática y la climatología urbana, métodos de definición de la forma y la envolvente arquitectónicas, efectos de la urbanización y la edificación en el clima de las ciudades, y escenarios a mediano plazo que debe enfrentar la arquitectura ante un clima cambiante.
5. *Herramientas prácticas*. Una de guía del usuario que detalla los pormenores de *bioclimarq*: instrucciones de llenado, fuentes de información disponibles, calidad que debe reunir la información colectada, fórmulas –y sus fundamentos– empleadas para completar la información no disponible, índices y coeficientes usados en las rutinas de trabajo, tanto propios –desarrollados específicamente para *bioclimarq*– como provenientes de otros ámbitos y autores; algoritmos desarrollados para la evaluación diagnóstica del bioclima, y manera de interpretar las recomendaciones emanadas de la hoja de cálculo.

En conclusión, estamos seguros de que el libro que estamos poniendo a su consideración, tiene aportaciones novedosas porque no se queda sólo en la exposición de los fundamentos científicos del tema, ni en el fomento de una conciencia ambiental para arquitectos. Va más allá, pues ilustra de manera práctica la forma en que profesionales de la arquitectura pueden incorporar en su trabajo los aspectos de ahorro de energía en la climatización de edificios así como las expectativas del cambio climático. Incluye además una herramienta digital que puede ser utilizada por los lectores para determinar las características formales de los edificios en su etapa de prediseño, considerando el clima del sitio, los requerimientos de confort térmico, las opciones de climatización pasiva o activa no contaminante y las demandas provenientes de los climas presentes y futuros, y de esta manera contribuir a la adaptación al cambio climático

Referencias

- ANSI/ASHRAE. (2021). *ANSI/ASHRAE Standard 55-2020: Thermal environmental conditions for human occupancy*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R. Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S.

- Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Krakovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld (2021). *Technical Summary. In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* (V. P. Masson-Delmotte, Ed.) Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.002
- Arrhenius, S. (1896). XXXI. On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature of the ground. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 41(251), 237-276. doi:10.1080/14786449608620846
- Arrhenius, S. (1908). *Worlds in the Making*. New York: Harper & Brothers.
- Barnola, J., Raynaud, D., Korotkevich, Y., & et. al. (1987). Vostok ice core provides 160,000-year record of atmospheric CO₂. *Nature*, 329, 408–414. doi:10.1038/329408a0
- Callendar, G. (1938). The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*(April 1938), 223-240. Obtenido de: https://www.eas.ualberta.ca/jdwilson/EAS372_15/exams/Callendar_QJRMS1938.
- Chamberlin, T. (1897). A Group of Hypotheses Bearing on Climatic Changes. *The Journal of Geology*, 5(7 Oct-Nov 1897), 653-683. doi:10.1086/607921

- Delmas, R., Ascencio, J., & Legrand, M. (1980). Polar ice evidence that atmospheric CO₂ 20,000 yr BP was 50% of present. *Nature*, 284, 155-157. doi:10.1038/284155a0
- Evans, J. (2004). e-Clim. *Análisis de clima y confort*. Buenos Aires, Argentina: CLHE Centro de Investigación Hábitat y Energía, Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, Universidad de Buenos Aires. Obtenido de: <https://pdfcoffee.com/1-e-clim-clima-fadu-uba-5-pdf-free.html>
- Foote, E. (1856). Circumstances affecting the heat of the sun's rays. *Am. J. Sci. Arts, Serie 2*(Vol 22), 382-383. Obtenido de: <https://www.biodiversitylibrary.org/item/177958#page/398/mode/1up>
- Fourier, J. (1890). Mémoire sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires. En J.-B. Fourier, G. Darboux, & et soins (Edits.), *Oeuvres de Fourier* (Vol. II: Mémoires publiés dans divers recueils, págs. 97-128). París: Gauthier-Villars. Obtenido de [https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt 6 K9657751j/f127.item](https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt_6K9657751j/f127.item)
- Fourier, J.-B. (1824). Remarques générales sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires. *Annales de Chimie et de Physique*, XXVII, págs. 136-167. París.
- Fourier, J.-B. (1827). Mémoire sur les Températures du Globe Terrestre et des Espaces Planétaires. *Mémoires d'Académie Royale des Sciences de l'Institut de France*, VII, 570-604. Obtenido de: <https://geosci.uchicago.edu/~rtp1/papers/Fourier1827Trans.pdf>
- Fuentes Freixanet, V., & Rincón Martínez, J. (2016). Bioclimatic Analysis Tool (BAT) Aplicación informática para el análisis bioclimático en arquitectura. *Estudios de Arquitectura Bioclimática*, XII, 27-53. Obtenido de: https://www.academia.edu/33294697/Bioclimatic_Analysis_Tool_BAT_Aplica

ci%C3%B3n_inform%C3%A1tica_para_el_an%C3%A1lisis_bioclim%C3%A1tico_en_Arquitectura

- González Cruz, E. (2019). CLIMANALISIS V1.1. *Análisis climático para diseño de edificaciones. Criterios y estrategias bioclimáticas*. Maracaibo, Venezuela. IFAD Universidad del Zulia.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change*. Geneve: ONU. Obtenido de https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/ar4_wg3_full_report-1.pdf
- IPCC. (2022 a.). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, Edits.) Cambridge, UK and New York, NY, USA: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157926.001
- IPCC. (2022 b.). History of the IPCC. Obtenido de <https://www.ipcc.ch/about/history/>
- IPCC. (2022 c.). *Summary for Policymakers* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33, doi:10.1017/9781009325844.001.
- Keeling, C. (1960). The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere. *Tellus*, 12(2), 200-203. doi:10.3402/tellusa.v12i2.9366

- Koenberger, O., Mahoney, C., & Evans, J. (1971). *Climate and House Design*. United Nations. Dept. of Economic and Social Affairs, Centre for Housing, Building, and Planning.
- Olgay, V. (1963). *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.
- Phillips, A. (1882). Pollution of the Atmosphere. *Nature*(27), 127. doi:10.1038/027127c0
- Plass, G. (1956). The Carbon Dioxide Theory of Climatic Change. *Tellus*, 8(2), 140-154. doi:10.3402/tellusa.v8i2.8969
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). *CO₂ and Greenhouse Gas Emissions*. Obtenido de OurWorldInData.org: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>
- Salvati, A. H. Coch-Roura y C. Cecere (2017). Assessing the urban heat island and its energy impact on residential buildings in Mediterranean climate: Barcelona case study, *Energy and Buildings* 146: 38-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.04.025>
- Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (1995). *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Study of Man's Impact on Climate (SMIC). (1971). Inadvertent climate modification: report. *Study of Man's Impact on Climate (1970 : Stockholm)* (pág. 308). Cambridge, Mass.: Massachusetts Institute of Technology. Obtenido de: <http://pi.lib.uchicago.edu/1001/cat/bib/214706>
- The Atmosphere. (6 de January de 1883). *New York Times*, pág. 4.
- Tejeda-Martínez, A., I.R. Méndez-Pérez y D.A. Cruz-Pastrana (2022). Domestic electricity consumption in Mexican metropolitan areas under climate change scenarios. *Atmósfera*, 35(3), 449-465. <https://doi.org/10.20937/ATM.52902>
- Tyndall, J. (1861). XXIII. On the absorption and radiation of heat by gases and vapours, and on the physical connexion of radia-

- tion, absorption, and conduction.—The bakerian lecture. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 22(146), 169-194. doi:10.1080/14786446108643138
- Tyndall, J. (1863). XXVII. On radiation through the earth's atmosphere. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, 25(167), 200-206. doi:10.1080/14786446308643443
- UNFCCC. (2022). *Race to Zero Campaign*. Obtenido de United Nations Climate Change: <https://unfccc.int/climate-action/race-to-zero-campaign>
- Werner, B., Oeschger, H., & Stauffer, B. (1980). Information on the CO₂ Cycle from Ice Core Studies. *Radiocarbon*, 22, 227-235. doi:10.1017/S0033822200009498