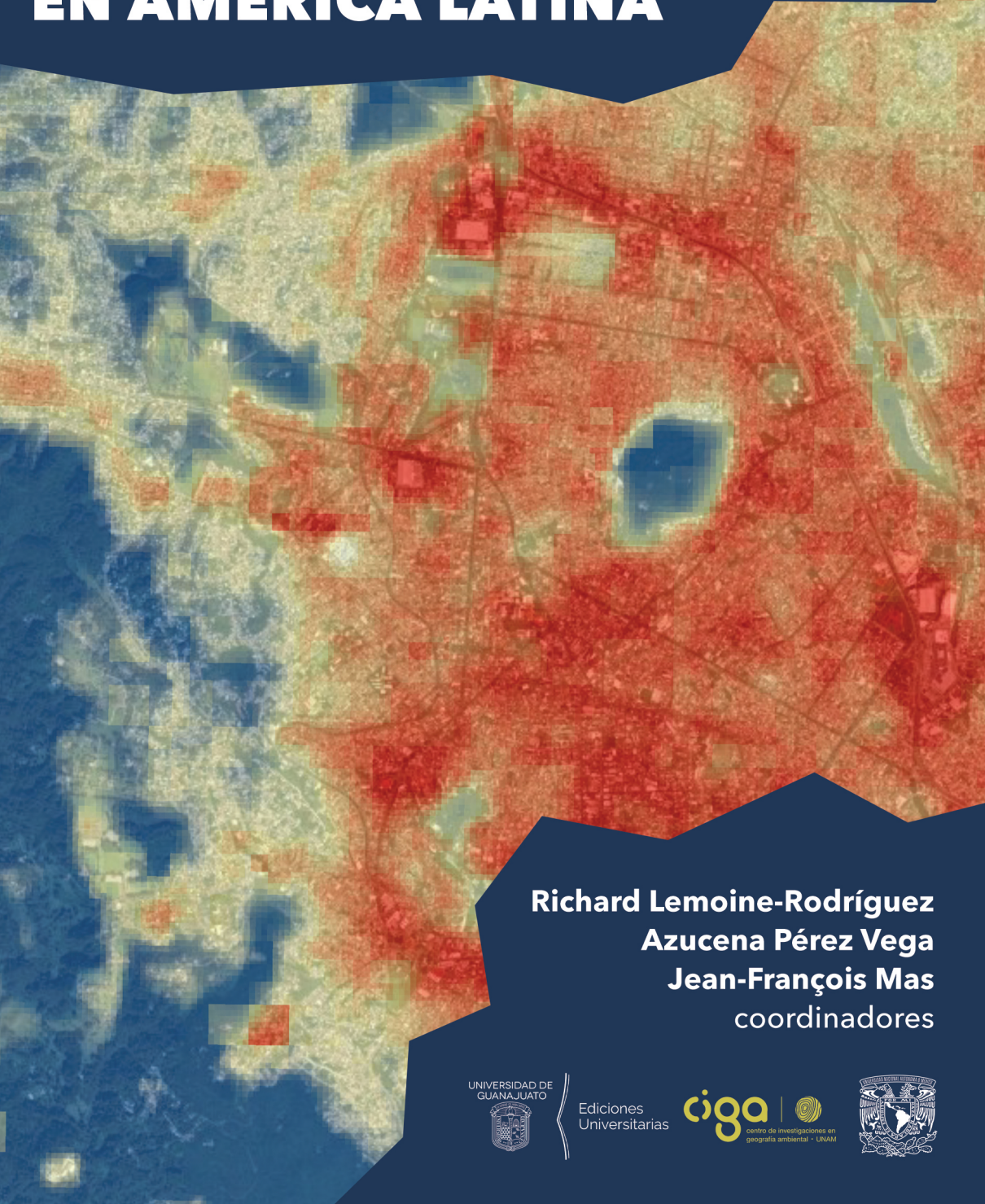


AVANCES EN EL ESTUDIO DE ISLAS DE CALOR URBANO EN AMÉRICA LATINA



Richard Lemoine-Rodríguez
Azucena Pérez Vega
Jean-François Mas
coordinadores



Ediciones
Universitarias



**AVANCES EN EL ESTUDIO DE
ISLAS DE CALOR URBANO EN AMÉRICA LATINA**

Richard Lemoine-Rodríguez

Azucena Pérez Vega

Jean-François Mas

coordinadores

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
CENTRO DE INVESTIGACIONES EN GEOGRAFÍA AMBIENTAL

UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS, CAMPUS GUANAJUATO
DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA E HIDRÁULICA

Catalogación en la publicación UNAM.

Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de Información

Nombres: Lemoine-Rodríguez, Richard, editor. | Pérez Vega, Azucena, editor. | Mas Causse, Jean-François, editor.

Título: Avances en el estudio de islas de calor urbano en América Latina / Richard Lemoine-Rodríguez, Azucena Pérez Vega, Jean-Francois Mas, coordinadores.

Descripción: Primera edición. | México : Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental : Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías, Campus Guanajuato, Departamento de Geomática e Hidráulica, 2024.

Identificadores: LIBRUNAM 2230221 (libro electrónico) | ISBN (CIGA-UNAM) (libro electrónico) 978-607-30-9293-7 | ISBN (Universidad de Guanajuato) (libro electrónico) 978-607-580-080-6.

Temas: Isla de calor urbana. | Climatología urbana.

Clasificación: LCC QC981.7.U7 (libro electrónico) | DDC 551.525091732—dc23

La publicación presente se aprobó de conformidad con las normas editoriales del CIGA-UNAM, y de la Universidad de Guanajuato. La elaboración del libro se llevó a cabo con el apoyo de la Universidad de Guanajuato a través de la División de Ingenierías y la Dirección de Apoyo a la investigación y al Posgrado. El libro se inició en el ámbito del proyecto PAPIIT IN112823 (Dirección General de Asuntos del Personal Académico, Universidad Nacional Autónoma de México).

Primera edición: enero de 2024

D. R. © 2023, Universidad Nacional Autónoma de México
Ciudad Universitaria s/n, Alcaldía Coyoacán,
C. P. 04510, Ciudad de México, México
www.unam.mx

D. R. © Universidad de Guanajuato
Lascuráin de Retana núm. 5,
Centro Guanajuato, Gto., México
C. P. 36000
editorial@ugto.mx

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental (CIGA-UNAM)
Antigua carretera a Pátzcuaro 8701, colonia Exhacienda de
San José de la Huerta, C. P. 58190, Morelia, Michoacán, México
www.ciga.unam.mx

Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías
Av. Juárez No. 77, Zona Centro. C. P. 36000
Guanajuato, Gto., México
www.di.ugto.mx

Cuidado editorial: Israel Chávez Reséndiz y Mónica Braun
Corrección de estilo y diseño de interiores: Mónica Braun
Foto de portada: Richard Lemoine-Rodríguez
Diseño de forros: Guillermo Serrano

Todos los capítulos de este libro fueron arbitrados por pares académicos externos al CIGA.

ISBN PDF UNAM - 978-607-30-9293-7

ISBN PDF UG - 978-607-580-080-6

Esta edición y sus características son propiedad de la Universidad Nacional Autónoma de México. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.

Este libro se distribuye gratuitamente en versión PDF.

Disponible en la página de publicaciones del CIGA:

<https://publicaciones.ciga.unam.mx/index.php/ec/>

Las versiones impresas son exclusivas de los autores de este libro.

Hecho en México

ÍNDICE

Acrónimos y siglas	7
Prólogo	11

SECCIÓN I

ISLAS DE CALOR URBANO EN CIUDADES UBICADAS EN DIVERSOS CONTEXTOS GEOGRÁFICOS

Estimación de islas de calor urbano en la zona metropolitana de Monterrey, México <i>Ulises Manzanilla-Quiñones, Aldo Rafael Martínez-Sifuentes, Patricia Delgado-Valerio, Pablo Marroquín-Morales</i>	17
Análisis de teledetección de la isla de calor urbano en climas semiáridos: una herramienta para el desarrollo sostenible de la ciudad de San Luis Potosí, México <i>Ana Salomé Cabezas Yanchapaxi, Carlos Alfonso Muñoz Robles, Johannes Hamhaber, Martha Bonilla Moheno</i>	47
Islas de calor y uso de suelo en Playa del Carmen, Quintana Roo, México <i>Gabriel Sánchez-Rivera, Leticia Gómez-Mendoza, Gladys Pérez-de La Fuente</i>	83
Efectos urbanos en la meteorología del Valle de Aburrá, Colombia: isla de calor en un terreno complejo y sus variaciones microclimáticas <i>Gisel Guzmán</i>	112
Evaluación del efecto isla de calor urbano y sus implicaciones en la vulnerabilidad social en Villahermosa, Tabasco, México <i>Alejandro Alcudia-Aguilar, Pavel Ernesto Popoca-Cruz, José Manuel Madrigal-Gómez, Miguel Eduardo Jácome-Flores, Lucía Sanaphre-Villanueva, Ojilve Ramón Medrano-Pérez</i>	140

Islas de calor urbano atmosférico y superficial en Guadalajara, México <i>Luz Elena Moreyra-González, Adalberto Tejeda-Martínez</i> <i>Pablo Elías-López</i>	181
--	-----

Variabilidad espaciotemporal de la isla de frescor urbano: Un estudio sobre las temperaturas rurales elevadas en el nordeste de Brasil <i>Max Anjos, Gabriel Leitoles</i>	211
--	-----

SECCIÓN II

PERSPECTIVAS REGIONALES Y NACIONALES DE LAS ISLAS DE CALOR URBANO

Tendencias de temperatura de la superficie terrestre en dos ciudades medias de México y sus periferias agrícolas durante el periodo 2003-2020 <i>Richard Lemoine-Rodríguez</i> <i>Azucena Pérez-Vega, Jean-François Mas</i>	235
---	-----

Evolución de las islas de calor urbano superficial en ciudades del corredor industrial de El Bajío, México, para los últimos 20 años <i>Sandra Lizbeth Medina Fernández, Juan Manuel Núñez Hernández,</i> <i>Itzia Gabriela Barrera Alarcón</i>	267
---	-----

Isla de calor en ciudades de Chile: una revisión. Intensidad, variabilidad, impactos y medidas de mitigación <i>Massimo Palme, Claudio Carrasco</i>	306
--	-----

Cambio climático y evaluación prospectiva del riesgo por islas de calor urbano en ciudades chilenas <i>Cristian Henríquez, Pamela Smith,</i> <i>Nikole Guerrero, Jorge Qüense</i>	329
---	-----

Enfoque multiescalar de los climas urbanos y los problemas socioambientales en Santiago de Chile <i>Hugo Romero, Pablo Sarricolea,</i> <i>Flávio Henrique Mendes</i>	367
--	-----

ACRÓNIMOS Y SIGLAS

AGEB	área geoestadística básica
ALI	Advanced Land Imager (generador de imágenes terrestres avanzado)
ALOS	Advanced Land Observing Satellite (satélite avanzado de observación de la Tierra)
AMC	área metropolitana de Concepción
AMG	área metropolitana de Guadalajara
AMS	área metropolitana de Santiago
AMV	área metropolitana de Valparaíso
AMVA	área metropolitana del Valle de Aburrá
ANOVA	analysis of variance (análisis de varianza)
ARclim	Atlas de Riesgos Climáticos
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (Radiómetro Espacial Avanzado de Emisión y Reflexión Térmica)
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer (Radiómetro Avanzado de Muy Alta Resolución)
BRIC	Baseline Resilience Indicators for Communities (indicadores básicos de resiliencia comunitaria)
CASEN	Encuesta de Caracterización Socioeconómica [de Chile]
CIGA	Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental [de la UNAM]
CLICOM	CLIMatic COMputing (computación climática)
CONAHCYT	Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías de México, antes CONACYT]
CONEVAL	Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social [de México]
COP	Conference of the Parties (Conferencia de las Partes)
DAAC	Distributed Active Archive Centers (Centros de Archivo Activo Distribuido de la NASA)
DMIC	Corredor industrial Delhi-Mumbai [India]
DROP	Disaster Resilience of Place (Resiliencia ante Desastres del Lugar)
EM	estaciones meteorológicas
EPA	United States Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos)
ESA	European Space Agency (Agencia Espacial Europea)
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc

ETM	Enhanced Thematic Mapper (sensor temático mejorado)
FVC	factor de visibilidad del cielo
GEE	Google Earth Engine
HDF	Hierarchical Data Format (formato de datos jerárquico)
IALE	International Association for Landscape Ecology (Asociación Internacional de Ecología del Paisaje)
ICU	isla de calor urbano
ICUN	isla de calor urbano negativa
ICUS	isla de calor urbano superficial
IFU	isla de frescor urbano
IIC	intensidad de la isla de calor
IICU	intensidad de la isla de calor urbano
IM	I de Moran (índice de Moran)
INE	Instituto Nacional de Estadística [de Chile]
INECC	Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático [de México]
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía [de México]
INMET	Instituto Nacional de Meteorología [de Brasil]
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
KMZ	Compressed Keyhole Markup Language (lenguaje de marcado Keyhole comprimido)
LCZ	Local Climate Zones (zonas climáticas locales)
LISA	Local Indicators of Spatial Autocorrelation (indicadores locales de asociación espacial)
LST	land surface temperature (temperatura de la superficie terrestre)
LULC	land use land cover (uso y cobertura del suelo)
MDE	Modelo Digital de Elevación
METAR	Meteorological Aerodrome Report (informe meteorológico de aeródromo)
MINSAL	Ministerio de Salud [de Chile]
MINVU	Ministerio de Vivienda y Urbanismo [de Chile]
MODIS	Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderada)
MSI	Multispectral Instrument (instrumento multiespectral)
MSS	Multispectral Scanner (escáner multiespectral)
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos)
NDBI	Normalized Difference Built-up Index (índice de edificaciones de diferencia normalizada)
NDVI	normalized difference vegetation index (índice de vegetación de

	diferencia normalizada)
NDWI	normalized difference water index (índice de agua de diferencia normalizada)
NIR	near infrared (infrarrojo cercano)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos)
OA	Overall Accuracy (fiabilidad global)
OA_{bu}	fiabilidad global de las clases LCZ con edificaciones versus natural
OA_U	fiabilidad general de las clases urbanas de LCZ
OA_ω	fiabilidad ponderada
IDEOCUC	Infraestructura de Datos Espaciales del Observatorio de Ciudades de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos de la Pontificia Universidad Católica de Chile.
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, OCDE)
OLI	Operational Land Imager (generador de imágenes terrestres operativo)
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ORCID	Open Researcher and Contributor ID (Identificador Abierto de Investigador y Colaborador)
PAC	proporción de área construida
PAI	proporción de área impermeable
PALSAR	Phased Array L-band Synthetic Aperture Radar (radar de apertura sintética en banda L con matriz de fases)
PAPIIT	Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica [de la UNAM]
PAV	proporción de área con vegetación
PCA	Principal componentes analysis (análisis de componentes principales)
PLCC	Plan Local de Cambio Climático
PV	Proporción de la vegetación
RAMA	Red Automática de Monitoreo Ambiental
RBF	Radial Basis Function (función de base radial)
SAIC	Sistema Automatizado de Información Censal [del INEGI]
SEDESOL	Secretaría de Desarrollo Social [de México]
SEGOB	Secretaría de Gobernación [de México]
SELPER	Sociedad Latinoamericana en Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial
SEMADET	Secretaría de Medio Ambiente y Desarrollo Territorial [de Jalisco]
SHP	Shapefile (archivo de formas)
SIATA	Sistema de Alerta Temprana de Medellín y el Valle de Aburrá

SIG	Sistema de información geográfica
SII	Servicio de Impuestos Internos [de Chile]
SIMAJ	Sistema de Monitoreo Atmosférico de Jalisco
SMN	Servicio Meteorológico Nacional [de México]
SNASPE	Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas del Estado [de Chile]
SoVI	Social Vulnerability Index (índice de vulnerabilidad social)
SUHI	surface urban heat island (isla de calor urbano superficial)
SUN	Sistema Urbano Nacional [de México]
SWIR	short wave near infrared (infrarrojo de onda corta)
TCAU	Tasa de crecimiento anual urbanizada
TIRS	Thermal Infrared Sensor (sensor infrarrojo térmico)
TM	Thematic Mapper (sensor temático)
TOA	top of atmosphere (parte superior de la atmósfera)
TST	temperatura de la superficie terrestre
UACJ	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez [México]
UCI	urban cool island (isla de frescor urbano)
UHI	urban heat island (isla de calor urbano)
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNIATMOS	Unidad de Informática para las Ciencias Atmosféricas y Ambientales [de la UNAM]
URCH	Unidades de Respuesta Climática Homogénea
USGS	United States Geological Service (Servicio Geológico de Estados Unidos)
UTC	Coordinated Universal Time (tiempo universal coordinado)
UTCI	Universal Thermal Climate Index (índice climático térmico universal)
UTM	Universal Transverse Mercator (proyección universal transversa de Mercator)
VNIR	Visible and near-infrared (visible e infrarrojo cercano)
WRF	Weather Research and Forecasting (Investigación y Pronóstico Meteorológico)
WUDAPT	World Urban Database and Access Portal Tools (Base de datos urbanos mundiales y portal de acceso a sus herramientas)
z₀	rugosidad aerodinámica en metros
zd	altura del plano de desplazamiento en metros
zH	altura de los edificios en metros
ZMM	zona metropolitana de Monterrey
ZMSLP	zona metropolitana de San Luis Potosí

PRÓLOGO

Hace ya treinta años que el premio nobel de química Ilya Prigogine se refirió a la ciudad como un sistema disipativo lejos del equilibrio, incluso proponiendo en su libro *Order out of Chaos (Orden desde el caos, 1984)* un modelo simplificado de urbanización basado en este principio. El estado lejos del equilibrio al que se refiere Prigogine es desde luego en el aspecto térmico, donde no hay homogeneidad en la temperatura interna de las ciudades, lo que produce un alto dinamismo interno con la consecuente disipación de calor hacia el exterior. Este es un principio básico que establece una relación entre complejidad y heterogeneidad térmica interna válida para todo sistema organizado, sean organismos vivos u otro tipo de estructuras complejas, incluyendo estrellas, planetas y ciudades. En efecto, cuando un sistema presenta homogeneidad térmica interior significa que no posee estructuras complejas que disipen calor hacia el exterior pues está en equilibrio térmico con su entorno, en un estado interno aleatorio que no permite la configuración de orden y jerarquías internas. En un universo térmicamente homogéneo no existirían estrellas ni tampoco seres humanos ni ciudades. Por esta razón, desde el punto de vista termodinámico, la variada heterogeneidad térmica que presentan los tejidos urbanos es una predicción teórica del principio básico de Prigogine: las ciudades son sistemas altamente complejos, disipativos y en estados lejos del equilibrio, lo que produce una amplia heterogeneidad térmica al interior de sus tejidos. El estado del arte de la ciencia del clima urbano muestra claramente que, más que islas de calor como fenómeno singular y como fuera caracterizado durante mucho tiempo, estamos en presencia de archipiélagos de calor y frescor, altamente dinámicos espacio-temporalmente y que reflejan esta alta heterogeneidad térmica anticipada por Prigogine como resultado del intercambio energético urbano determinado por su capacidad disipativa y por lo tanto regida irrenunciablemente por las leyes de la termodinámica.

Este particular comportamiento termodinámico es de tal magnitud y alcance espacial que produce un cambio profundo y característico en las

condiciones climáticas, localizado espacialmente sobre el ambiente urbano, y que generó una disciplina científica propia avocada al estudio de esta heterogeneidad térmica: el clima urbano. Estas características climáticas han sido largamente observadas, descritas y analizadas en la literatura científica publicada en inglés por varias décadas, constituyendo hoy un cuerpo de conocimiento científico robusto y consolidado. El estudio del clima urbano tiene no solo un alto valor teórico, sino también práctico, considerando los tremendos desafíos a los que se enfrentan las ciudades del siglo XXI. Las ciudades son sistemas físicos altamente dinámicos que se expanden y aumentan su tamaño y peso a velocidades muy altas, que sobrepasan el ritmo de la mayoría de los procesos que ocurren a escala del paisaje. En América Latina, los vectores de expansión urbana alcanzan los 300 metros lineales por año, mientras que, en comparación, un bosque templado se expande apenas unos 50 metros por año. La mayoría de los procesos geológicos a gran escala productores del paisaje ocurren a velocidades anuales medidas en centímetros por año. En cambio, las ciudades en América Latina se expanden a velocidades promedio de 20 metros cuadrados por minuto, lo que produce profundos cambios no solo en sus relaciones ecológicas con los ecosistemas nativos, sino fundamentalmente en las condiciones climáticas al interior de sus tejidos, los cuales poseen una composición ecológica diferente, constituida por edificaciones e infraestructuras antropogénicas altamente concentradas en espacios muy reducidos.

Las particularidades del clima urbano se intensifican producto de las fluctuaciones impuestas por el cambio climático, agravando las profundas inequidades ambientales a las que se ven expuestas las personas. El cambio climático, como se ha destacado en la literatura científica y también en este libro, es una dimensión de cambio global que se sobrepone a la climatología particular que crean las ciudades. La pérdida de servicios ecosistémicos producto de un desarrollo urbano ignorante de la contribución de la naturaleza al bienestar humano afecta dramáticamente las opciones de adaptación a un clima menos benigno que se avecina. El conocimiento científico acumulado en la ciencia del clima urbano puede ser un gran aporte en la batalla contra estos tremendos desafíos ecológicos. Sin embargo, es imprescindible superar las brechas en el traspaso de conocimiento producido en inglés y el que está disponible en nuestro idioma.

El presente libro constituye una ambiciosa recopilación del conocimiento sobre clima urbano en nuestra lengua castellana y refleja el estado del arte en el primer cuarto del siglo XXI en América Latina. Es una compilación sistemática y de acceso libre que constituye desde ya un aporte relevante al conocimiento científico disponible en nuestra región. Los editores han sido capaces de compilar un abanico diverso y rico de trabajos realizados en nueve ciudades en cuatro países de Latinoamérica, reuniendo a una comunidad que incluye a treinta y nueve autores que han investigado el clima urbano en la región, describiendo sus características y consecuencias algunos desde hace décadas. Los estudios de caso representan solo algunos ejemplos de investigaciones que ilustran con calidad y alcance internacional la realidad del clima urbano en la región, facilitando el acceso al estado del arte a través de esta colección de capítulos. El desafío que sortea este libro no solo es relevante en el sentido de compilar un abanico interesante de estudios, sino también en términos de nomenclatura y definiciones científicas en castellano al tratarse de denominaciones utilizadas para describir el fenómeno climático que no están necesariamente normalizadas en nuestra lengua y que por lo tanto han sido también parte de los desafíos que los editores han enfrentado en estas páginas. Efectivamente, avanzar en protocolos de nomenclatura que definan terminologías estándar como isla de calor urbano (ICU) es un paso necesario en la consolidación de un lenguaje propiamente científico que sea no solo apropiado sino también aceptado y utilizado por la comunidad académica.

En sus doce capítulos, el libro revisa las características fundamentales de las islas de calor urbano, tanto en diversos contextos geográficos en la sección uno, como a diferentes escalas en la sección dos. Los estudios de casos incluyen las ciudades de Santiago de Chile, San Luis Potosí, Playa del Carmen, Villahermosa, Monterrey y Guadalajara en México, Valle de Aburrá en Colombia y el nordeste de Brasil. A una escala distinta y con miradas más regionales y nacionales, los capítulos de la sección dos analizan las características climatológicas de ciudades mexicanas, sus periferias agrícolas y del corredor industrial del Bajío, junto a las características de varias ciudades de Chile.

El libro presenta un espectro de casos concretos que dibujan un mapa climático urbano actual, con claras consecuencias ambientales a futuro, las

cuales se interceptan con las tendencias de desarrollo urbano insostenible observadas en América Latina y que han sido caracterizadas por una pérdida sistemática de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Lo anterior ha llevado a un deterioro paulatino de las condiciones ambientales y a una creciente inequidad ambiental e informalidad urbana, todo esto cruzado por una planificación y gobernanza en general débiles, con escasos recursos y capacidad técnica para enfrentar estos desafíos. No obstante, América Latina cuenta hoy con una generación de jóvenes investigadores con muy alto nivel de preparación académica y que están produciendo innovadores resultados de la mano de tecnologías de investigación y monitoreo de última generación.

De cara hacia el futuro existen todavía importantes desafíos metodológicos y conceptuales. Para avanzar en una caracterización más robusta del clima urbano se requiere una adecuada inclusión del tiempo como variable urbano-climática fundamental; es decir, no solo desde el punto de vista estándar que divide día y noche en los análisis de islas de calor, sino también en estudios que consideren mayores horizontes temporales que permitan observar los cambios térmicos en las islas de calor, sus tendencias y patrones, y poder entender de mejor forma cómo proyectar su futura presencia y magnitudes, o cómo mitigarlas cuando esto sea necesario.

Desde el punto de vista conceptual y de cara a una perspectiva de investigación de mucho más largo plazo, es importante considerar que el balance energético producto de la demanda de energía para alimentar los procesos urbanos presenta desafíos que parecen insuperables. La energía que utilizamos del sol es solo una fracción infinitesimal de toda la energía que alcanza la superficie terrestre, y constituye desde luego nuestro seguro energético para el futuro, capaz de satisfacer hasta las más inverosímiles demandas. La magnitud disponible de dicha energía es descomunal y supera en varios órdenes de magnitud nuestras necesidades humanas, siendo capaz de sostener el desarrollo urbano de manera físicamente ilimitada (las restricciones actuales para el mejor aprovechamiento de la energía solar disponible son tecnológicas y también de políticas, pero no físicas). Sin embargo, tan grande disponibilidad energética produce el mayor de los problemas para las ciudades del futuro: la disipación de esa energía que entra al sistema urbano. Los actuales modelos de clima urbano consideran

únicamente de manera marginal los efectos de la energía metabolizada; es decir, aquella utilizada para sostener procesos y funciones urbanas, pues son efectivamente insignificantes. Sin embargo, al aumentar el consumo interno de energía y como producto de la segunda ley de la termodinámica, esta energía debe disiparse al exterior, tanto de edificios como al exterior de la ciudad misma. Si la demanda y consumo de energía aumenta de manera exponencial, de la misma forma lo harán las necesidades de disipación de esa energía hacia el exterior del sistema urbano. Sin embargo, esta necesidad termodinámica presenta una tremenda limitación física. A diferencia de la Tierra, que posee un espacio circundante infinito a casi cero grados kelvin donde disipar el calor que el planeta emite, las ciudades no cuentan con un reservorio donde emitir el calor resultante de sus procesos internos. Esta realidad física significa que, probablemente, el peor y más grande desafío de las ciudades del futuro es el termodinámico: cómo poder mantener el confort térmico y la habitabilidad del tejido urbano en un contexto de creciente demanda y consumo de energía que es internamente disipada, y que, por lo tanto, requerirá de mejores estructuras urbanas que permitan gestionar el calor excesivo. Es un desafío altamente complejo que requiere agendas de investigación transdisciplinarias que integren el conocimiento de clima urbano con el existente en la ecología industrial y el metabolismo urbano, a fin de poder anticiparnos y, eventualmente, mejorar nuestra capacidad de reacción a un futuro urbano definitivamente más caluroso. Pero esa es otra historia.

*Luis Inostroza
Brno, octubre de 2023*