

# De la vegetación al concreto:

## ¿Cómo las ciudades reescriben el ciclo del agua?

From vegetation to concrete: How do cities rewrite the water cycle?

Por Ana Gabriela Godínez-Tovar, Carlos Alberto Mastachi-Loza

**Resumen:** El cambio de uso del suelo y la acelerada urbanización incrementan la temperatura local, intensifican el fenómeno de la isla de calor y alteran los patrones de precipitación convectiva en las ciudades. El estudio de este fenómeno, mediante técnicas de teledetección, permite analizar y evidenciar los crecientes desafíos socioambientales y sus efectos: inundaciones, sequías y olas de calor más frecuentes y agudas. Esto también demuestra la necesidad de implementar una planificación territorial sustentable orientada a mitigar los impactos locales.

**Palabras clave:** cambio de uso del suelo, isla de calor urbana, precipitación convectiva, teledetección.

**Abstract:** Land-use change and rapid urbanization increase local temperatures, intensify the urban heat island effect, and alter convective precipitation patterns in cities. Studying this phenomenon using remote sensing techniques allows us to analyze and highlight the growing socio-environmental challenges and their effects: more frequent and severe floods, droughts, and heat waves. This also demonstrates the need to implement sustainable land-use planning aimed at mitigating local impacts.

**Keywords:** land-use change, urban heat island, convective precipitation, remote sensing

**El cambio** de uso del suelo hacia áreas urbanas y agrícolas, junto con la disminución de las áreas verdes debido a la deforestación, ha provocado un aumento de las temperaturas locales. Esto sucede porque la baja en la densidad de vegetación limita la absorción del dióxido de carbono y disminuye la capacidad de evapotranspiración, lo cual reduce el potencial de enfriamiento natural del ambiente, favoreciendo el incremento de la temperatura (Li *et al.*, 2022).

Este cambio drástico en la cobertura natural provoca el fenómeno de la isla de calor urbana y altera no solo el comportamiento de la

temperatura, sino también los patrones de precipitación. El impacto es evidente en la distribución espacio-temporal de la lluvia, fenómeno registrado en distintas regiones del mundo (Baudena *et al.*, 2021).

Hace algunos años, junto con otros colegas, realizamos un estudio en dos ciudades mexicanas y observamos



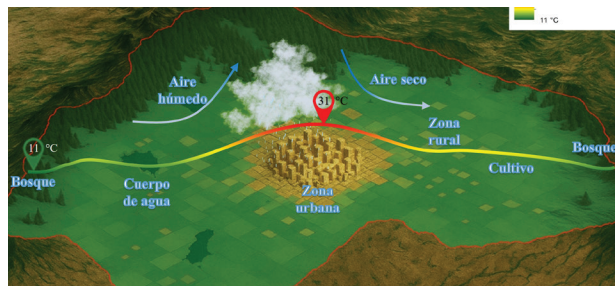
algo que se replica en todo el país y en otras partes del mundo: cambios significativos en los patrones de precipitación, vinculados a la intensificación de la isla de calor y al drástico cambio de la cobertura natural, principalmente por la acelerada transformación a entornos urbano (Godínez-Tovar *et al.*, 2019).

El fenómeno de la isla de calor urbana se caracteriza por:

1. Superficies artificiales: el asfalto y el concreto que cubren las ciudades son materiales que absorben y retienen el calor.
2. Disposición urbana: la morfología de la ciudad (edificios altos y calles estrechas) reduce la circulación del aire.
3. Calor antropogénico: emisiones de dióxido de carbono (IPCC, 2023), como transporte e industria.
4. Superficies naturales: reducción de las áreas verdes y de los cuerpos de agua que regulan la temperatura.
5. Variación espacio-tiempo: la intensidad de la isla de calor varía a lo largo del día y del año (Tian *et al.*, 2021).

La isla de calor propicia la ocurrencia de lluvias convectivas, las cuales se caracterizan por ser de tipo local, de corta duración pero alta intensidad, y se presentan con mayor frecuencia en horas de la tarde; se origina cuando las columnas de aire caliente ascienden sobre superficies cálidas, propiciando la formación de nubes de desarrollo vertical, y cuando el aire se enfría rápidamente se da la condensación y luego la precipitación. En las ciudades, este proceso se acentúa debido al incremento de la temperatura que fuerza el ascenso del aire húmedo y altera el comportamiento espacio-temporal de lluvias convectivas, una de las manifestaciones más claras del impacto de la isla de calor urbana sobre el ciclo hidrológico local (Figura 1).

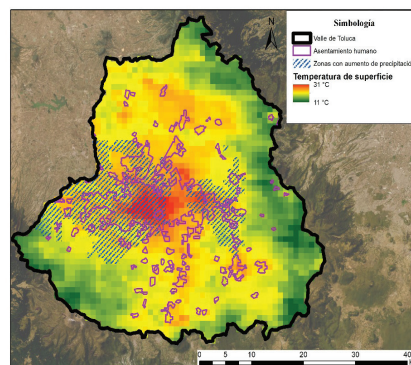
**Figura 1. Efecto de la isla de calor y su impacto sobre el comportamiento de la precipitación convectiva**



Fuente: Elaboración propia.

El Valle de Toluca es un ejemplo representativo de cómo la acelerada urbanización y el cambio drástico en el uso del suelo influyen en el comportamiento térmico y su impacto en los patrones de lluvia. En un estudio sobre la Cuenca Alta del Río Lerma, identificamos que el crecimiento urbano desordenado se ha extendido a áreas forestales y agrícolas modificando significativamente la cobertura natural; hay un notorio desplazamiento de los bosques para convertirlos en terrenos de cultivo, lo cual provoca pérdida de densidad de vegetación y reduce la capacidad natural térmica e hídrica (Godínez-Tovar *et al.*, 2023). Este proceso ha sido documentado mediante datos de teledetección, particularmente la temperatura de superficie terrestre (LST) de MODIS y la precipitación estimada por DAYMET, estos sensores permiten caracterizar los efectos derivados de la expansión urbana (Figura 2).

**Figura 2. Temperatura de superficie y precipitación alterada en el Valle de Toluca**



Fuente: Elaboración propia con datos de MODIS producto LST y de la base de datos de DAYMET.

## TELEDETECCIÓN

Debido a que los cambios por el incremento de la temperatura global afectan la disponibilidad de agua y aumentan el riesgo de inundaciones, sequías y olas de calor, es necesario realizar un análisis integral basado en información espacial y temporal de alta resolución. Esto fortalecerá la planeación territorial, apoyará estrategias de adaptación y mitigación, y orientará acciones para conservar y recuperar áreas naturales que desempeñan un papel clave en la regulación de la temperatura y en el equilibrio del ciclo hidrológico.

La teledetección, por tanto, se ha convertido en una herramienta clave para comprender, monitorear y anticipar los impactos del cambio de uso del suelo, en particular de la urbanización. Esta técnica genera información continua y de gran cobertura para identificar la magnitud de la isla de calor urbana, monitorear la precipitación espacio-temporal y detectar tendencias en las variables meteorológicas.

El procesamiento de datos satelitales evidencia cómo la alteración del entorno modifica el comportamiento del ciclo hidrológico local. Esta información es indispensable para orientar la planificación urbana sustentable, diseñar estrategias de mitigación basadas en evidencia y reducir los impactos negativos asociados a la creciente urbanización. Diversos productos satelitales proveen de datos valiosos, entre ellos Sentinel, Landsat o MODIS (temperatura superficial) y CHIRPS o IMERG (precipitación).

Gracias a estas herramientas podemos formular diagnósticos ambientales que evalúen los riesgos para una toma de decisiones oportuna e informada que promueva el desarrollo urbano sustentable y resiliente, con el fin de mejorar la gestión del agua y reducir los efectos negativos sobre el clima local. 

### Referencias

- Baudena, Mara et al. (2021). "Effects of land-use change in the Amazon on precipitation are likely underestimated", en *Global Change Biology*, vol. 27, núm. 21. <<https://doi.org/10.1111/gcb.15810>>.
- Godínez-Tovar, Ana Gabriela et al. (2019). "Metamorfosis espacio-temporal de la precipitación en dos ciudades del altiplano mexicano: Santiago de Querétaro y San Juan del Río", en *Digital Ciencia@ UAQRO*, vol. 12, núm. 1.
- Godínez-Tovar, Ana Gabriela et al. (2023). "Capítulo 16. Influencia del cambio del uso de suelo sobre la dinámica de la precipitación. Caso de estudio: Curso Alto de la Cuenca Alta del Río Lerma, México", en *Geología Ambiental y Recursos Hídricos*. Coords. José Emilio Baró Suárez y Alexis Ordaz Hernández. México: Cromberger Editores e Impresores, S.A. de C.V.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2023). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <<https://doi.org/10.1017/9781009325844>>.
- Li, Xiaoyang et al. (2022). "Untangling the effects of climate change and land use/cover change on spatiotemporal variation of evapotranspiration over China", en *Journal of Hydrology*, vol 612, Parte B.
- Tian, P. et al. (2021). "Assessing spatiotemporal characteristics of urban heat islands from the perspective of an urban expansion and green infrastructure", en *Sustainable Cities and Society*, núm. 74.



**Ana Gabriela Godínez-Tovar** es Licenciada en Geología Ambiental y Recursos Hídricos por la Facultad de Geografía y Maestra en Ciencias del Agua por el Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA), ambas por la UAEMéx. Actualmente realiza una Estancia de investigación en el mismo instituto, bajo el Programa Investigadoras e Investigadores Conacyt (folio EESP2025-0015). Su línea de investigación se enfoca en el análisis de impacto ambiental mediante el uso de herramientas de teledetección.



**Carlos Alberto Mastachi-Loza** es profesor-investigador de tiempo completo en el Instituto Interamericano de Tecnología y Ciencias del Agua (IITCA) de la UAEMéx. Su línea de investigación se centra en vincular los aspectos ecohidrológicos con la gestión integrada del agua, empleando sistemas de información geográfica y técnicas de teledetección.