

IMPACTO DE LA URBANIZACIÓN EN LA FORMACIÓN DE ISLAS DE CALOR EN NUEVO LEÓN: UN ENFOQUE UTILIZANDO IMÁGENES SATELITALES

Luis Gerardo Ramos-Zuñiga^{1,*}

¹ *Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias de la Tierra, Linares, N.L. 67700, México*

* luis.ramoszg@uanl.edu.mx

Resumen

Hemos creado la aplicación ICSU 2.0, con el propósito de analizar la distribución de los efectos de la isla de calor superficial urbana en las localidades de Linares y Monterrey, situadas al NE de México. Empleando imágenes de satélite, podemos evaluar el estado térmico de los entornos urbanos en cada una de las respectivas ciudades y determinar las regiones que experimentan las temperaturas más elevadas y bajas durante la estación estival. Empleamos el procesamiento de computación en la nube para eludir los problemas de hardware asociados al volumen de datos almacenados en una imagen de satélite y a la cantidad de información generada durante cada uno de los procesos. Esto, a su vez, facilitó el desarrollo de la aplicación y permitió analizar la información relativa a las zonas seleccionadas. Los datos corroboran la idea de que las regiones con actividad industrial contribuyen al aumento de la temperatura superficial, mientras que las zonas con vegetación o cuerpos de agua ayudan a mitigar los efectos de las islas de calor. Aunque, por otro lado, en el caso de la región de Linares, determinadas zonas donde se realizan actividades deportivas presentan un incremento de temperatura que oscila entre los 3°C y los 6°C.

Palabras clave

Islas de calor, MODIS, Landsat 8, temperatura, NDVI

Abstract

We have created the application ICSU 2.0, with the purpose of scrutinizing the dispersion of surface urban heat island phenomena in the localities of Linares and Monterrey, situated on the NE of Mexico. Employing satellite imagery, we can gauge the thermal condition of the urban landscapes in each respective city and discern the regions experiencing the most elevated and diminished temperatures during the summer season. We employed cloud computing processing to circumvent hardware issues associated with the volume of data stored in a satellite image and the amount of information generated during each of the processes. This, in turn, facilitated the development of the application and enabled the analysis of information pertaining to the selected areas. The data corroborates the notion that regions with industrial activity contribute to a rise in surface temperature, whereas areas with vegetation or bodies of water aid in mitigating the effects of heat islands. Nevertheless, on the other hand, in the case of the Linares region, certain areas where sporting activities are conducted exhibit a temperature increase ranging from 3°C to 6°C.

Ramos-Zuñiga, L.G. (2023): Impacto de la urbanización en la formación de islas de calor en Nuevo León: un enfoque utilizando imágenes satelitales. – en: Montalvo Arrieta, J.C., Ramírez Fernández, J.A., Aguilar-Madera, C.G., Jenchen, U., Salinas Jasso, J.A., Velasco-Tapia, F. & Navarro-de León, I. (eds.): Número especial en conmemoración del 90° Aniversario de la Universidad Autónoma de Nuevo León y del 40° Aniversario de la Facultad de Ciencias de la Tierra. – Actas de la Facultad de Ciencias de la Tierra, UANL, Linares, **9 (2023)**: 143-150.

Keywords

Heat islands, MODIS, Landsat 8, temperature, NDVI, MODIS, NDVI

Introducción

Las islas de calor superficial urbanas (ICSU), conocidas como islas de calor, son áreas urbanas que experimentan temperaturas más altas que las áreas rurales circundantes debido a las actividades humanas (EPA, 2023). La discrepancia de temperatura es más pronunciada durante las horas nocturnas que durante el día, y se hace más evidente cuando la velocidad del viento es baja. Las islas de calor pueden surgir en diversas circunstancias, incluso durante el día o la noche, en ciudades pequeñas o grandes, en áreas suburbanas, en climas

septentrionales o meridionales y en cualquier estación del año (EPA, 2023). Las islas de calor pueden suponer importantes riesgos para la salud y provocar insolaciones, agotamiento por calor y otras afecciones, como los ataques cardíacos. Estos impactos en la salud suelen experimentarse de manera desproporcionada, ya que las comunidades minoritarias y de bajos ingresos residen en áreas que son más susceptibles a las islas de calor (MIT, 2023). Las islas de calor representan un desafío sustancial que puede tener numerosas consecuencias adversas para nuestra salud, el medio ambiente y la economía.

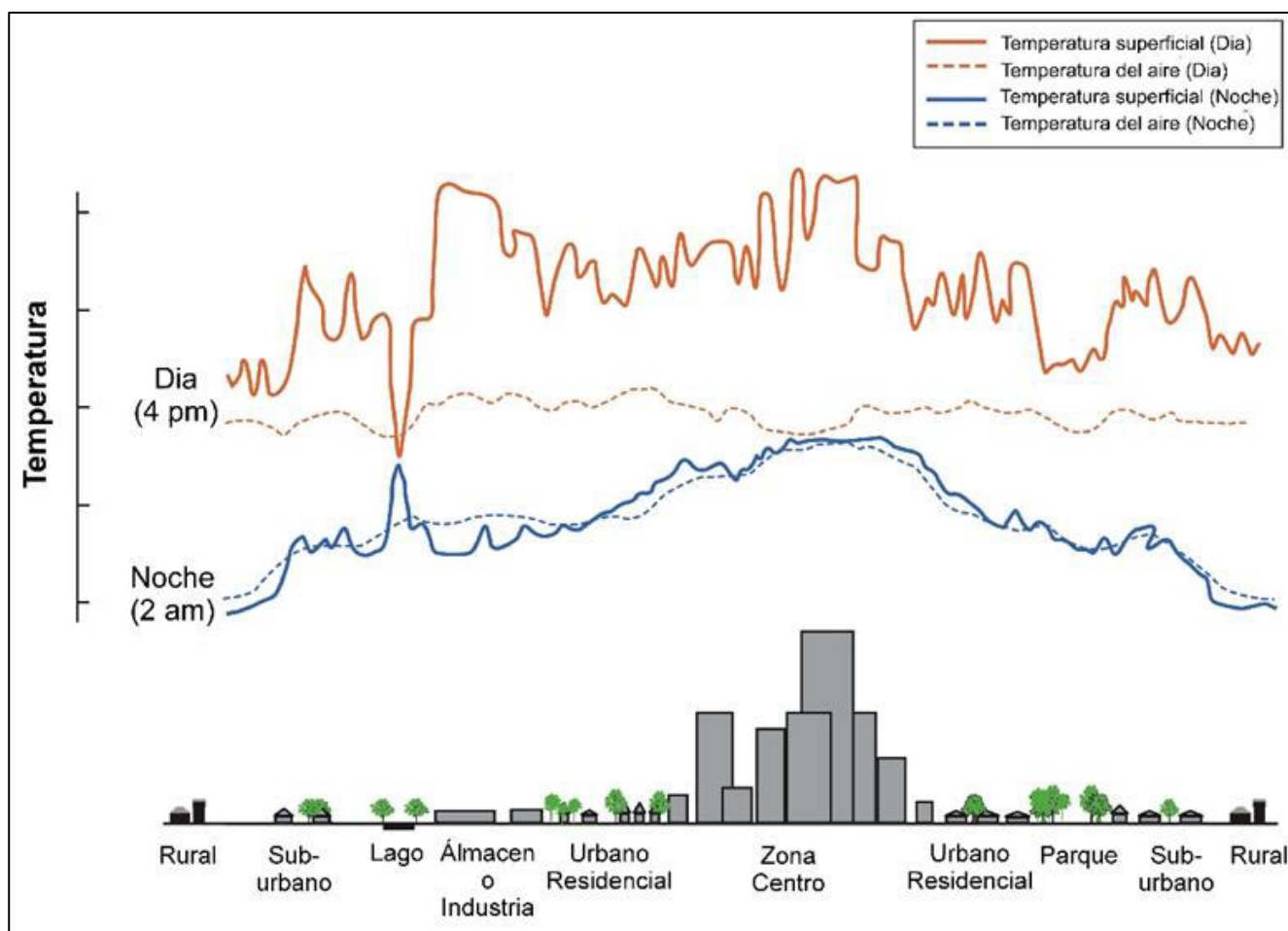


Figura 1: Diagrama adaptado del efecto de las Islas de Calor Superficial Urbanas (EPA, 2023).

La naturaleza multifacética de la formación de islas de calor se puede atribuir a varios factores principales. Uno de ellos, es la disminución de los paisajes naturales en las áreas urbanas, lo que se traduce en la pérdida de árboles, vegetación y cuerpos de agua. Las investigaciones han demostrado que esta disminución tiene

un impacto notable en el aumento de las temperaturas. Esto se debe a los efectos refrescantes que proporcionan estos elementos naturales, como la sombra, la transpiración del agua de las hojas de las plantas y la evaporación del agua superficial, al reducir el efecto del calor, contribuyen a mantener temperaturas más bajas.

Además, las características de los materiales urbanos, incluidas las carreteras y los tejados, también influyen en la formación de islas de calor. En comparación con las superficies naturales, estas superficies urbanas tienen una mayor capacidad de absorber y emitir calor, lo que provoca temperaturas elevadas. Por ejemplo, los materiales para techos convencionales pueden alcanzar temperaturas hasta 15 °C más altas que la temperatura del aire, circundante, de 32 °C, en un día cálido.

La morfología urbana es un elemento crucial adicional que no se puede ignorar (Simmons et al., 2008). Se sabe que la elevada concentración de estructuras y calles estrechas en las regiones urbanas limita el calor e impide su disipación. Además, las actividades humanas, incluida la movilización en automóviles, las instalaciones industriales y otras fuentes, producen calor que contribuye al fenómeno de la ICSU. En última instancia, el clima y la geografía desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de estas islas de calor. Las ciudades situadas en climas cálidos y áridos son más susceptibles a este fenómeno que aquellas que se encuentran en climas fríos y húmedos. Durante las horas diurnas, las temperaturas de la superficie presentan un mayor grado de fluctuación en comparación con las temperaturas del aire atmosférico, aunque suelen ser comparables durante los períodos nocturnos (EPA, 2023).

En la Figura 1 se puede observar que las ondulaciones y fluctuaciones en las temperaturas de la superficie sobre el área del lago atestiguan cómo el agua mantiene una temperatura casi constante durante todo el día y la noche, debido a su absorción diferencial de energía solar en comparación con los edificios y las superficies pavimentadas. Un entorno urbano que cuenta con parques, áreas abiertas y cuerpos de agua pueden generar áreas de intensidad térmica reducida. En general, las temperaturas son más bajas en la periferia suburbana-rural que en los centros urbanos. Este artículo presenta el desarrollo de ICSU 2.0, una aplicación que permite mostrar y analizar un mapa de islas de calor para las ciudades de Linares y Monterrey, situadas en la región noreste de México. Ambas áreas urbanas tienen un clima cálido y árido. La utilización de imágenes de satélite facilita la evaluación de las temperaturas de la superficie en cada ciudad, identificando así las regiones que experimentan las temperaturas más altas y bajas durante la temporada de verano. Esta valiosa información contribuye a nuestra comprensión de los factores y las consecuencias asociados a las islas de calor en estas ciudades y ayuda a formular estrategias para mitigar sus impactos.

Antecedentes

Las ICSU tienen un impacto sustancial tanto en el bienestar humano como en el entorno natural, por lo que es crucial examinar las conexiones entre las islas de calor, la salud y los problemas ambientales. En términos de salud, las islas de calor

contribuyen al aumento de las temperaturas diurnas, a la disminución del enfriamiento nocturno y al aumento de los niveles de contaminación del aire, lo que puede provocar diversas muertes y dolencias relacionadas con el calor, como molestias generales, dificultades respiratorias, calambres por calor, agotamiento por calor e insolación no mortal. Además, los habitantes de las ICSU son más vulnerables a las enfermedades relacionadas con el calor e incluso a la mortalidad, además de experimentar una peor calidad del aire y soportar una mayor carga financiera de gastos por uso de aire acondicionado (EPA, 2023). Además, la exposición al calor excesivo está relacionada con varias consecuencias no mortales para la salud, como el golpe de calor, la deshidratación, la reducción de la productividad laboral entre otros (NEEF, 2023).

En lo que respecta al entorno natural, las islas de calor contribuyen al aumento del consumo de electricidad en verano, lo que provoca un aumento de las emisiones de contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero. Además, las ICSU agravan el cambio climático y pueden comprometer la calidad del agua (EPA, 2023; Iberdrola, 2023). La disparidad también es una preocupación importante, ya que las islas de calor afectan de manera desproporcionada a las comunidades minoritarias y de bajos ingresos, dada su tendencia a residir en áreas que son más susceptibles a la aparición de islas de calor (Hsu et al., 2021). En términos generales, las islas de calor ejercen una influencia sustancial tanto en el bienestar humano como en el medio ambiente, y las ramificaciones de esa influencia suelen percibirse de manera desigual. En consecuencia, es imprescindible adoptar medidas destinadas a mitigar las consecuencias de las islas de calor, entre las que se incluyen el aumento de los espacios verdes y la reducción de la utilización de materiales que absorben el calor en las zonas urbanas.

Cifras globales

Las tasas de urbanización están experimentando un aumento global, por lo que más de la mitad de la población mundial reside en áreas urbanas. Se prevé que estas tasas aumenten aún más hasta alcanzar el 68% en el año 2050 (UNDESA, 2023). El fenómeno de las islas de calor puede suponer importantes riesgos para la salud, como la aparición de golpes de calor, agotamiento por calor y otras enfermedades, como los infartos. Entre 1998 y 2017, se registró un número impresionante de muertes a causa de las olas de calor, que superaron las 166,000 personas. La ola de calor de 2003 en Europa causó más de 70,000 de estas muertes (Ballester et al., 2023). Las olas de calor se consideran uno de los peligros naturales más peligrosos debido a su potencial de provocar un deterioro de la calidad del agua y un aumento del consumo de electricidad durante la temporada de verano, lo que provoca un aumento en la liberación de contaminantes del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero. Si bien es

inegable que las regiones urbanas experimentan temperaturas más altas en comparación con sus homólogas rurales adyacentes, se puede afirmar que el fenómeno del efecto isla de calor urbana no ha contribuido significativamente a las tendencias observadas del calentamiento global. Los principales factores causantes de la elevación de las temperaturas son las actividades humanas, principalmente la combustión de combustibles fósiles (NASA, 2023).

Datos y Metodología

Se ha implementado una aplicación llamada ICSU 2.0, desarrollada con datos de acceso libre, en la *API JavaScript de Google Earth Engine* (GEE). GEE es una plataforma basada en la *web* que brinda a los usuarios la capacidad de adquirir, manejar, analizar y representar datos geoespaciales. Ofrece una amplia gama de datos de observación de la Tierra de diversas fuentes, incluidas la NASA, la ESA y el USGS, junto con herramientas para el análisis y la visualización de datos. El objetivo principal de la aplicación ICSU 2.0 es facilitar el análisis geoespacial y el procesamiento de los datos de imágenes de satélite, con un énfasis específico en el análisis de la temperatura de la superficie terrestre (LST) y las ICSU. Este análisis se centra en dos ciudades de interés del territorio neoleonés. El análisis previo sólo presenta los resultados para la variación diurna de las ICSU en ambas ciudades.

Para observar la LST desde una perspectiva satelital, es imperativo cuantificar las emisiones dentro de la banda térmica y, posteriormente, convertirlas en una estimación de la LST (Li et al., 2013). El paso inicial de este proceso consiste en incorporar una serie de características que representen con precisión la región de interés. Específicamente, para las ciudades de Linares y Monterrey, ubicadas en la región noreste de México, se emplearon polígonos en formato shape (CONABIO, 2023) para delinear los límites de las ciudades antes mencionadas. Posteriormente, se utiliza una recopilación de imágenes obtenidas de las plataformas AQUA y TERRA, utilizando un sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Estas imágenes incluyen datos de temperatura obtenidos de la superficie terrestre (Wan et al., 2021). La banda «LST_Day_1km» se selecciona específicamente para el análisis diario en esta colección de imágenes MODIS, las cuales corresponden a la LST.

El período de tiempo seleccionado para este ejercicio corresponde a los meses de verano y se emplea con el fin de filtrar los datos de la LST dentro del intervalo de fechas especificado: del 1 de septiembre de 2018 al 1 de septiembre de 2023. Posteriormente, se calcula el valor medio, medido en píxeles, de todas las imágenes de la colección filtrada y se multiplica por un factor de escala (0.02, que representa el factor de escala del sensor) para convertir la temperatura de Kelvin a

grados Celsius. Además, se utiliza una base de datos completa sobre cuerpos de agua (Pekel et al., 2016) para generar una máscara que excluye los píxeles asociados a la presencia de agua en la región de interés. Además, es necesario establecer una función que pueda ocultar eficazmente los píxeles oscuros y brumosos presentes en las imágenes del Landsat cortesía del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Este proceso implica extraer las imágenes relevantes del conjunto de datos del Landsat 8 (L8) y someterlas a un procedimiento de filtrado que se adapte a la región y al período de tiempo específicos de interés. Luego, la máscara resultante se aplica a toda la colección y, en última instancia, se crea una composición promediada de las imágenes L8 en cuestión, a la vez que se mitiga eficazmente el impacto de la capa de nubes.

Sobre la base de las mediciones de reflectancia de la superficie obtenidas a partir de las imágenes de L8, se calcula el índice diferencial normalizado de vegetación (NDVI) que implica la utilización de las bandas roja e infrarroja cercana. En consecuencia, se obtiene un índice de vegetación fraccionada como resultado de este cálculo. Ambos parámetros están estrechamente relacionados con la densidad de la vegetación en una región determinada. Los datos de vegetación fraccionada se emplean posteriormente para determinar los valores de emisividad, que indican el grado en que un material emite radiación térmica debido a su temperatura. Además, la LST también se determina mediante la utilización de datos de emisividad, temperatura y brillo extraídos de las imágenes L8. En esta etapa particular del proceso, se emplea el módulo externo descrito por Ermida et al. (2020), que facilita el procesamiento de los datos del satélite Landsat mediante la aplicación del recorte, el filtrado y la conversión de los valores de temperatura en grados Celsius.

La región de interés se manipula mediante operaciones de amortiguamiento para establecer referencias del área rural con la intención de contrastar y distinguir la región urbana. Para estas operaciones, se seleccionó una distancia de 2 km a fin de establecer las demarcaciones entre las regiones urbanas, rurales y suburbanas. Además, se empleó una base de datos de cobertura terrestre para América del Norte (Pasos, 2019), que se creó mediante un esfuerzo de colaboración entre la Organización de Recursos Naturales de Canadá, el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) y tres organizaciones mexicanas: el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), la Comisión Nacional para el Conocimiento y el Uso de la Biodiversidad (CONABIO) y la Comisión Forestal Nacional de México (CONAFOR). Estos datos se utilizaron para identificar los píxeles asociados a estructuras urbanas y no urbanas en función de las bandas correspondientes de este conjunto de mapas. Posteriormente, los valores medios del LST se calculan para varios escenarios, que abarcan regiones rurales y urbanas y en diferentes condiciones, utilizando datos de MODIS y L8. Por

último, la isla de calor de la superficie urbana se determina utilizando los datos de L8 y los valores de referencia rurales obtenidos anteriormente.

Resultados y análisis

Esta sección proporciona una descripción integral de los resultados derivados del procesamiento de datos satelitales, así como el análisis posterior de las ICSU, realizado para las dos ciudades ubicadas en el estado de Nuevo León. Así mismo, en la sección de material complementario, se puede encontrar un acceso a la versión *web* de las siguientes ilustraciones, lo que brinda a los usuarios la oportunidad de navegar por representaciones cartográficas interactivas que facilitan un análisis más completo de una región en particular dentro de la ciudad, a través de la manipulación de las capas (*layers*) a las que da acceso la aplicación. Las LST, promedio, obtenidas a partir de MODIS, L8 y L8 compuesta fueron de 31°C a 48°C para la Cd de Monterrey y de 39°C a 44°C para la región de Linares.

Caso 1.- Linares

La Figura 2 muestra la fluctuación en la ICSU a lo largo del día para el centro urbano de Linares, Nuevo León. El mapa muestra la región con la variación más notable, que se encuentra al norte en el sector industrial de la ciudad. En concreto, las fábricas de Franklin Electric (a) y Vernell (b) presentan una desviación de hasta +10°C con respecto a la media durante el período analizado. Hacia la parte centro-oriental de la ciudad, las fábricas de Orval Kent (c, d) y Delphi Automotive Systems (e) oscilan entre +3°C y +6°C. En la parte oriental de la ciudad, adyacente a las instalaciones del Hospital General en la colonia Provileon, destaca un área particular con un cambio similar de entre +3°C y +6°C, que corresponde a una zona deportiva que abarca un campo de fútbol soccer de sala y un campo de césped sintético (f). Otros campos deportivos también presentan variaciones de temperatura superiores a la media: la unidad deportiva en la colonia San Antonio, específicamente la cancha de fútbol (g), no así la de béisbol, experimenta una fluctuación de +3°C a +5°C; los campos de béisbol de las colonias La Petaca (h) y Fidel Velázquez (i) tienen una variación de +3°C y +4°C respectivamente.

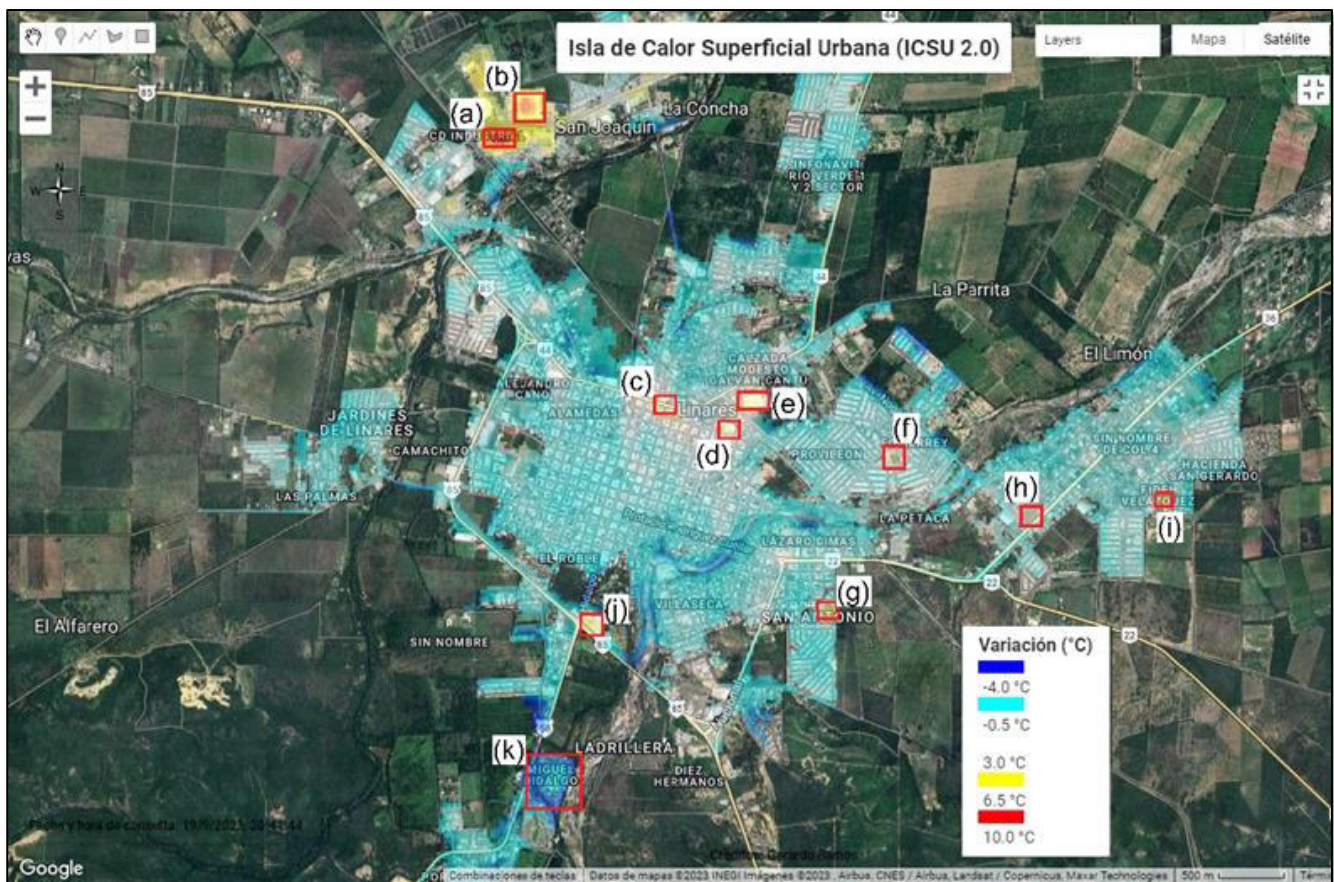


Figura 2: Isla de Calor Superficial Urbana para la región de Linares, Nuevo León.

Por último, al sur de la ciudad, la zona comercial donde se encuentran Soriana Mercado y Coppel (j) sufre una variación de $+4.8^{\circ}\text{C}$. Como observación general, las regiones que muestran un cambio de temperatura favorable (disminución) son las que se encuentran cerca o en las márgenes de ríos o poseen una mayor cantidad de áreas verdes como la colonia Miguel Hidalgo (k) al sur de la ciudad con una variación de -2.6°C con respecto del promedio.

Caso 2.- Monterrey

La Figura 3 muestra la fluctuación de la isla de calor de la superficie urbana dentro del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Las mayores variaciones, que llegan hasta los 16°C , se producen predominantemente en áreas con actividad

industrial, como la fábrica Zinc Nacional, en San Nicolás de los Garza (a), que experimenta cambios de $+16^{\circ}\text{C}$, y Celestica (b), un fabricante de productos electrónicos ubicado en Apodaca, con una variación de $+15.7^{\circ}\text{C}$. Entre los datos analizados, el estadio de fútbol BBVA en Guadalupe (c) exhibe una variación favorable de -7.8°C , mientras que el Parque Fundidora y el Paseo Santa Lucía (d) en la colonia Obrera, tienen una variación de $+0.6^{\circ}\text{C}$ en comparación con la media. En general, las regiones con cambios (disminuciones) de temperatura favorables se sitúan junto a los ríos que atraviesan la ciudad o en áreas al pie de las montañas, como lo demuestran los datos del área de San Pedro Garza García (e), donde la variación oscila entre -0.5°C y -3.6°C . Del mismo modo, Cd. Satélite y La Estanzuela (f), ubicadas al sur del área metropolitana, presentan valores de -0.1°C a $+0.3^{\circ}\text{C}$.

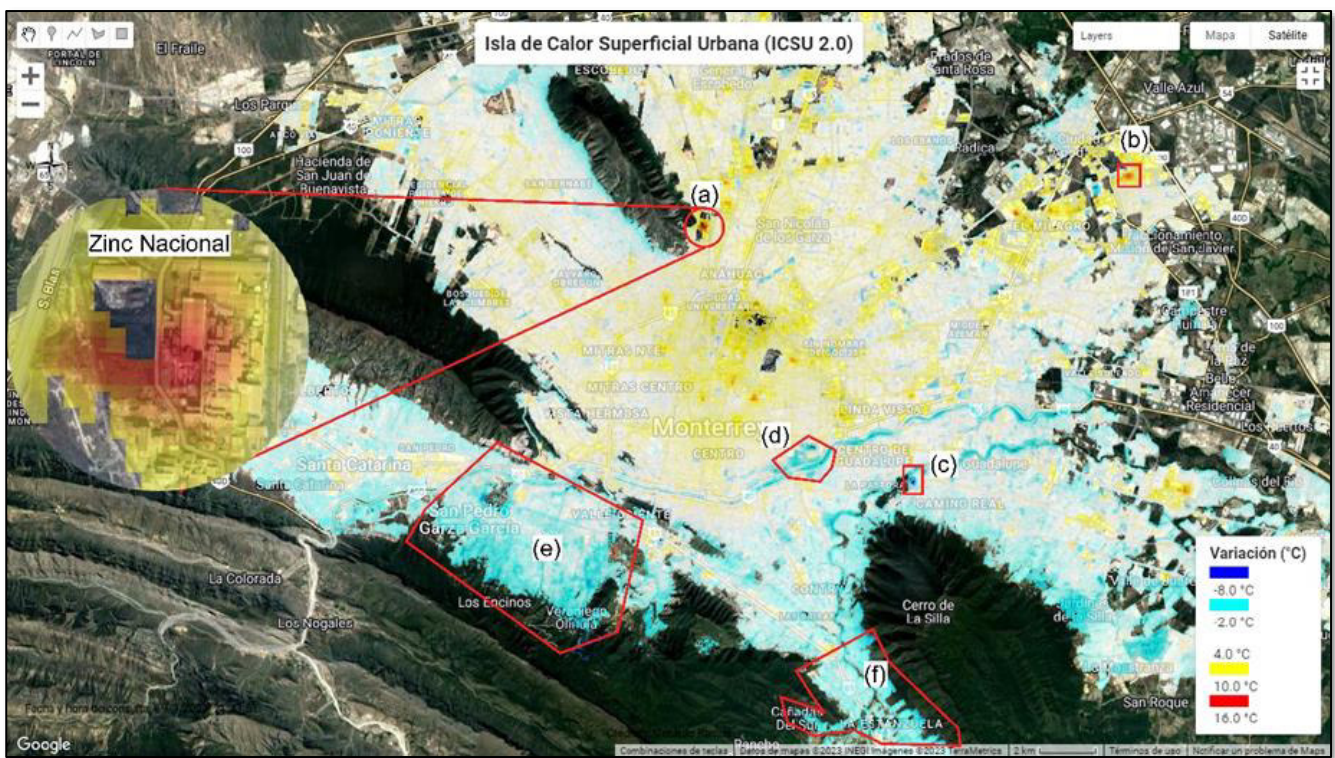


Figura 3: Variación ICSU para el área metropolitana de Monterrey, Nuevo León.

La Figura 3 muestra la fluctuación de la isla de calor de la superficie urbana dentro del área metropolitana de Monterrey, Nuevo León. Las mayores variaciones, que llegan hasta los 16°C , se producen predominantemente en áreas con actividad industrial, como la fábrica Zinc Nacional, en San Nicolás de los Garza (a), que experimenta cambios de $+16^{\circ}\text{C}$, y Celestica (b), un fabricante de productos electrónicos ubicado en Apodaca, con una variación de $+15.7^{\circ}\text{C}$. Entre los datos analizados, el estadio de fútbol BBVA en Guadalupe (c) exhibe una variación favorable de -7.8°C , mientras que el Parque Fundidora y el Paseo Santa Lucía (d) en la colonia Obrera, tienen una variación de $+0.6^{\circ}\text{C}$

en comparación con la media. En general, las regiones con cambios (disminuciones) de temperatura favorables se sitúan junto a los ríos que atraviesan la ciudad o en áreas al pie de las montañas, como lo demuestran los datos del área de San Pedro Garza García (e), donde la variación oscila entre -0.5°C y -3.6°C . Del mismo modo, Cd. Satélite y La Estanzuela (f), ubicadas al sur del área metropolitana, presentan valores de -0.1°C a $+0.3^{\circ}\text{C}$.

Conclusiones y recomendaciones

Para el desarrollo del ICSU 2.0, se emplearon metodologías que abarcaron predominantemente el procesamiento de los datos de los satélites AQUA y TERRA, junto con el Landsat 8, lo que permitió examinar la temperatura de la superficie terrestre y utilizar diversos índices para identificar, calcular y analizar las islas de calor urbanas en dos ciudades del estado de Nuevo León. Mediante el análisis de los resultados de las regiones analizadas, se puede deducir que las áreas que albergan actividades industriales presentan las fluctuaciones de temperatura más pronunciadas, lo que genera un aumento de la temperatura de la superficie terrestre, mientras que las áreas caracterizadas por un aumento de la vegetación o la presencia de cuerpos de agua dentro o en la periferia de la ciudad manifiestan una disminución de la temperatura promedio. Cabe destacar que algunas áreas deportivas muestran una elevación de la temperatura, particularmente en el caso de Linares, donde es más visible. Cabe mencionar que, en el área metropolitana de Monterrey, el escenario es contrario: el edificio que alberga el estadio de fútbol BBVA presenta una disminución de la temperatura, aunque esto parece ser un hecho aislado, ya que es la única zona, de este tipo, que experimenta tal disminución. Sin embargo, se requiere un análisis más exhaustivo de este tipo de estructuras en esta región en particular. En términos generales, las regiones con zonas industriales muestran un aumento de la temperatura, mientras que las regiones con una mayor extensión de vegetación o masas de agua tienden a aliviar los efectos de las islas de calor de la superficie urbana.

Es imprescindible implementar estrategias para mitigar los efectos de las islas de calor en las regiones urbanas, como aumentar la cantidad de espacios verdes. La inclusión de parques, espacios abiertos y cuerpos de agua tiene el potencial de generar regiones con una intensidad térmica disminuida. Se puede reducir la utilización de materiales que absorben el calor si se opta por materiales de construcción que reflejen la luz solar en lugar de absorberla. Algunos ejemplos de estos materiales son los techos y paredes verdes, o los techos blancos y los pavimentos permeables. Además, el fomento de la ventilación natural se puede lograr diseñando edificios y calles de manera que faciliten la circulación del aire. Si bien la actividad industrial es crucial para el crecimiento económico de una ciudad, se debe hacer un esfuerzo concertado para reducir dicha actividad en los entornos urbanos, a la luz de su importante contribución a la formación de islas de calor. En consecuencia, se pueden tomar medidas para reducir la actividad industrial en estas áreas. Además, la utilización de tecnologías de refrigeración urbana, como los sistemas de riego por aspersión, las fuentes y los sistemas de nebulización, también pueden contribuir a la reducción de la temperatura. En última instancia, la adopción de medidas para mitigar las islas de calor urbanas puede mejorar el

bienestar humano y promover un medio ambiente más sostenible.

Trabajos futuros

Entre las actividades pendientes por realizar se encuentra el cálculo de las ICSU durante periodos nocturnos para ver su distribución dentro de las ciudades analizadas. Mejorar la aplicación de manera que permita al usuario usar su propia área de interés a través de proporcionar un polígono y mostrar, así, la distribución de variación de temperatura provocada por la isla de calor. El investigar la relación entre las islas de calor urbanas y los factores socioeconómicos puede ayudar a identificar comunidades vulnerables y desarrollar intervenciones específicas para mitigar los impactos en la salud de las ICSU.

Material complementario

Los siguientes enlaces dan acceso a la *app ICSU 2.0* de los escenarios de las islas de calor superficial urbanas para las ciudades de [Linares](#) y área metropolitana de [Monterrey](#) en el estado de Nuevo León.

Referencias

- Ballester, J., Quijal-Zamorano, M., Méndez-Turrubiates, R.F., Pegenaute, F., Herrmann, F.R., Robine, J.M., Basagaña, X., Tonne, C., Antó, J.M. & Achebak, H. (2023): Heat-related mortality in Europe during the summer of 2022. – *Nature medicine*, **7**: 1857-1866.
- CONABIO (2023): Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. – Portal de Información Geográfica [Online]. <http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/>
- EPA (2023): Environmental Protection. – Agency [Online]. <https://www.epa.gov/home>
- Ermida, S.L., Soares, P., Mantas, V., Götsche, F.M. & Trigo, I.F. (2020): Google Earth Engine open-source code for land Surface Temperature estimation from the Landsat series. – *Remote sensing*, **12(9)**: 1471.
- Hsu, A., Sheriff, G., Chakraborty, T. & Many, D. (2021): Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities. – *Nature communications*, **12(1)**.
- IBERDROLA (2023): Urban heat islands and their adverse effects on their inhabitants. – [Online]. <https://www.iberdrola.com/sustainability/urban-heat-island>
- Li, Z.L., Tang, B.H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I.F. & Sobrino, J.A. (2013): Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. – *Remote sensing of environment*, **131**: 14-37.

- MIT (2023): Urban heat islands. – Massachusetts Institute of Technology; MIT Climate Portal. <https://climate.mit.edu/explainers/urban-heat-islands>
- NASA (2023): National aeronautics and space administration. – [Online]. <https://www.nasa.gov/>
- Your Health. – [Online]. <https://www.neefusa.org/story/climate-change/heat-waves-heat-islands-and-your-health>
- NEEF (2023): The National Environmental Education Foundation; Heat waves, heat islands, and your health. – [Online]. <https://www.neefusa.org/story/climate-change/heat-waves-heat-islands-and-your-health>
- Pasos, M. (2019): North American land change monitoring system. – CEC, Commission for Environmental Cooperation. <http://www.cec.org/north-american-land-change-monitoring-system>
- Pekel, J.F., Cottam, A., Gorelick, N. & Belward, A.S. (2016): High-resolution mapping of global surface water and its long-term changes. – *Nature*, **540**: 418-422.
- UNDESA (2023): United Nations Department of Economic and Social Affairs. – [Online]. <https://www.un.org/development/desa/en/news/population/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>
- Wan, Z., Hook, S. & Hulley, G. (2021): MODIS/Aqua Land Surface Temperature/Emissivity 8-Day L3 Global 1km SIN Grid V061. – NASA EOSDIS Land Processes Distributed Active Archive Center.