

# Descripción General y Acceso a la temperatura de la Superficie Terrestre (LST por sus siglas en inglés)

Sean McCartney

9 de mayo de 2023



# Objetivos de Aprendizaje

Después de participar en la capacitación de hoy, quienes asistieron podrán:

- Definir qué es una isla de calor urbana (UHI) y por qué es importante para los planificadores urbanos y los expertos en salud pública
- Identificar qué satélites y sensores se pueden utilizar para evaluar las UHI
- Analizar la temperatura de la superficie terrestre de Landsat 8 y 9 y Aqua MODIS usando Google Earth Engine
- Resumir las limitaciones de los datos satelitales para comprender las UHI



Temperatura de la superficie terrestre para Baltimore, Maryland (EE. UU.) recopilada por Landsat ETM+ el 1 de agosto de 2001. Las temperaturas más altas se muestran en amarillo, mientras que las temperaturas frías se muestran en color morado oscuro.  
Fuente: NASA



# Islas de Calor Urbanas

- Las áreas urbanas experimentan temperaturas más altas que las áreas periféricas. Esta diferencia de temperatura es lo que constituye una isla de calor urbana (UHI, por sus siglas en inglés).
- La diferencia de temperatura tiene que ver con los cambios en las propiedades térmicas y de radiación de las superficies impermeables, es decir, los edificios y el pavimento que absorben el calor.
- Las temperaturas varían dentro de las ciudades debido a la distribución espacial del agua, el suelo, la vegetación y las superficies impermeables.



Las temperaturas de la superficie terrestre en las ciudades, particularmente en las ciudades densamente desarrolladas, tienden a ser elevadas en comparación con las áreas circundantes. Fuente: [NASA](#)



# Causas de las Islas de Calor Urbanas

- Albedo e Infraestructura
  - El asfalto, el hormigón y los ladrillos absorben, en vez de reflejar, el calor del sol, lo que hace que aumenten las temperaturas de la superficie y del aire debido a su capacidad de almacenamiento térmico.
- Vegetación reducida en áreas urbanas
  - Minimiza los efectos de enfriamiento natural de la sombra y la evapotranspiración del suelo y la vegetación.
- Calor antropogénico
  - Los vehículos, las unidades de aire acondicionado, los edificios y las instalaciones industriales emiten calor al entorno urbano.



Fuente: [Anthony Quintano](#)



# Causas de las Islas de Calor Urbanas

- Geometría urbana
  - Los edificios altos actúan como obstáculos y reducen el flujo de viento, el cual traería efectos refrescantes.
- Clima
  - Las condiciones meteorológicas calmadas y despejadas maximizan la cantidad de energía solar que llega a las superficies urbanas. Por el contrario, los fuertes vientos y la nubosidad suprimen la formación de islas de calor.
- Geografía
  - Las grandes masas de agua pueden moderar la temperatura, mientras que las montañas cercanas pueden bloquear el viento o crear patrones de viento que atraviesan una ciudad.



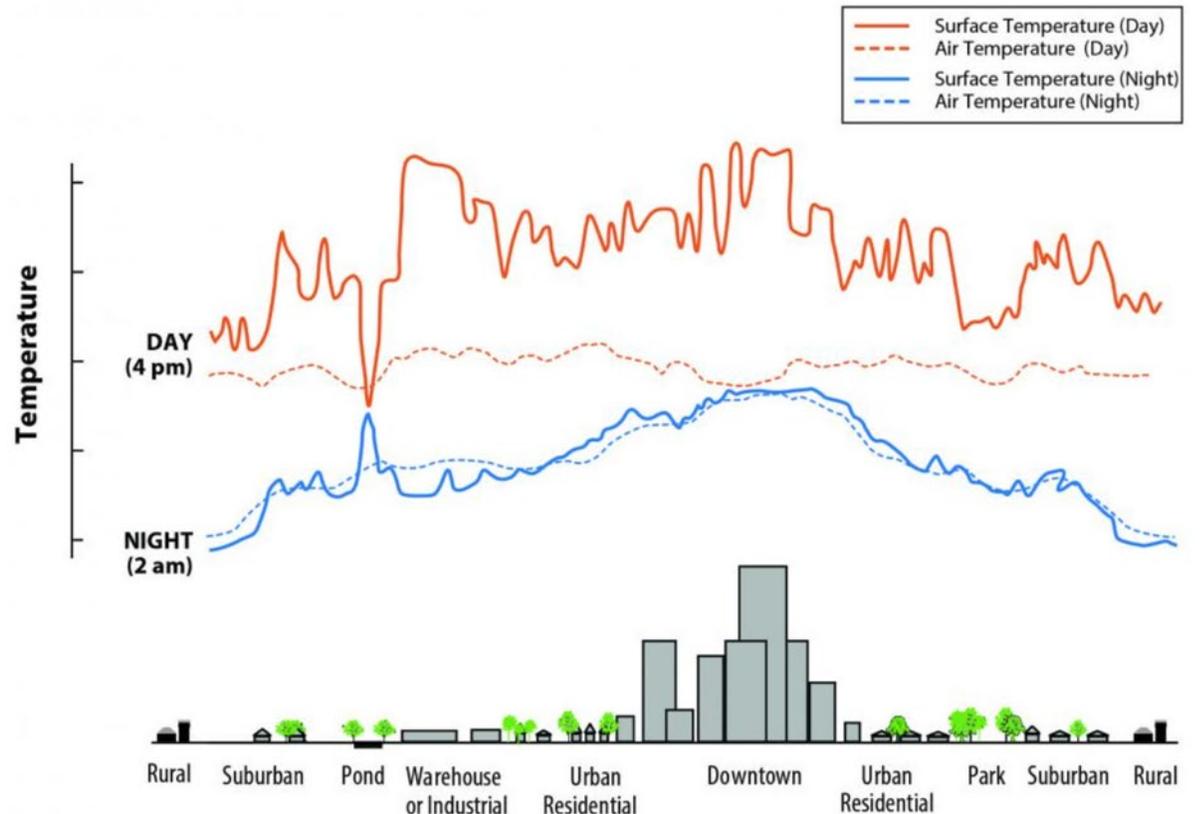
Fuente: [Pikrepo](#)

<https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>



# Islas de Calor Urbanas

- Las islas de calor urbanas pueden formarse durante el día o la noche, en ciudades pequeñas o grandes y en cualquier estación.
- Hay dos tipos de islas de calor urbanas:
  - Islas de calor urbanas superficiales
  - Islas de calor urbanas atmosféricas (es decir, de aire)
- Las temperaturas de la superficie varían más que las temperaturas del aire durante el día, pero generalmente son similares durante la noche.

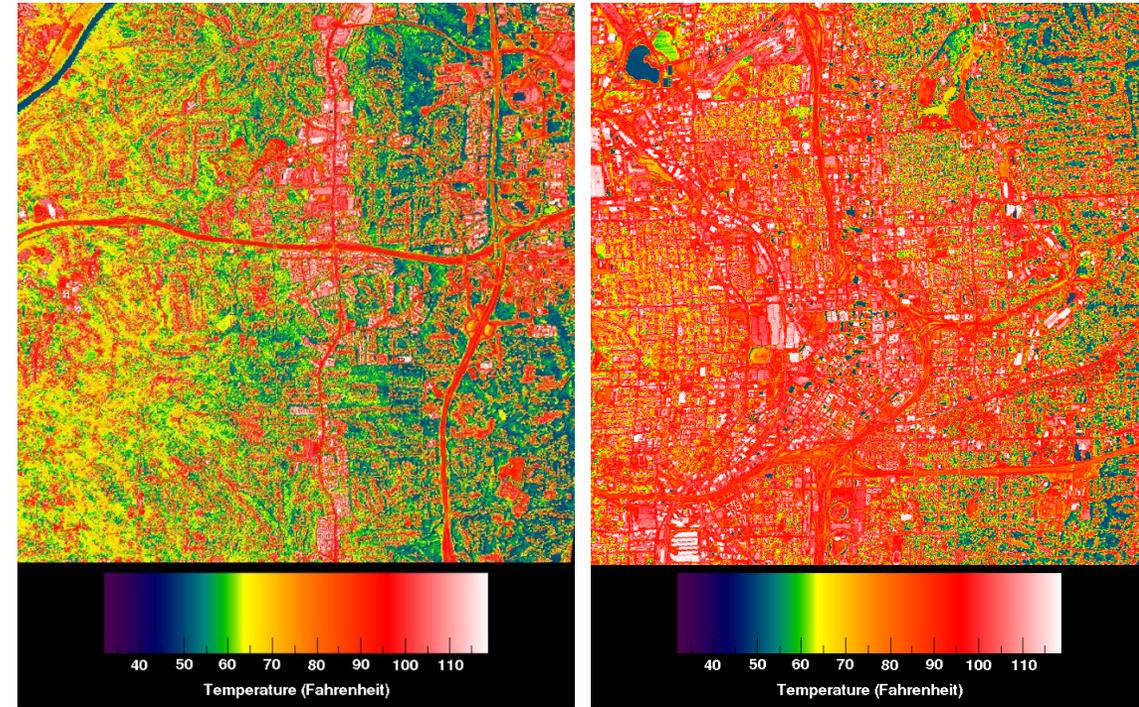


Los parques, los terrenos abiertos y los cuerpos de agua pueden crear áreas más frescas dentro de una ciudad. Las temperaturas suelen ser más bajas en los límites suburbanos-rurales que en las áreas del centro. Fuente: [EPA](#)



# Islas de Calor Urbanas Superficiales

- Las Islas de Calor Urbanas de Superficie (SUHs por sus siglas en inglés) representan la diferencia de temperatura radiativa entre las superficies impermeables y naturales.
- Las SUHs tienden a ser más intensas durante el día cuando brilla el sol.
- La magnitud varía con las estaciones, pero normalmente es mayor en el verano.
- Las SUHs se miden principalmente mediante sensores remotos en la región del infrarrojo térmico (TIR) del espectro electromagnético (EM).



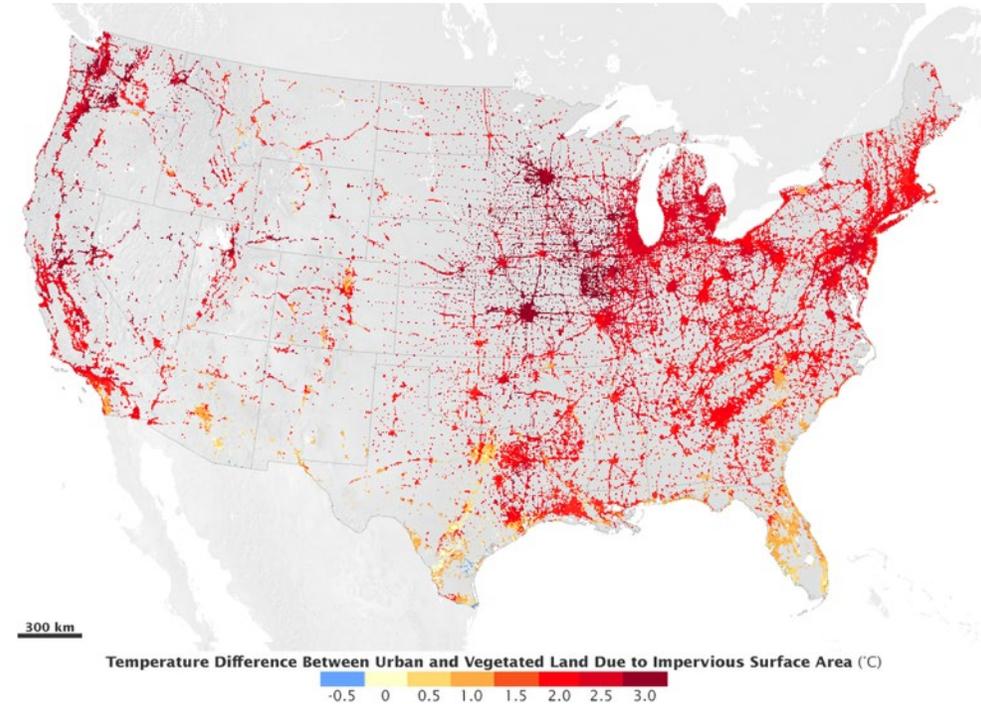
Las imágenes de satélite de las zonas suburbanas (izquierda) y urbanas (derecha) de Atlanta, Georgia (EE. UU.) muestran las diferencias en el calentamiento diurno causadas por el efecto isla de calor urbano.

Fuente: [NASA Goddard Scientific Visualization Studio](https://svs.gsfc.nasa.gov/)



# Monitoreo de Islas de Calor Urbanas – SUHIs

- La teledetección térmica satelital mide las SUHIs y proporciona observaciones consistentes y repetibles de la superficie de la Tierra.
- La teledetección ofrece la posibilidad de estudiar el entorno térmico urbano en varias escalas espaciales (de local a global) y temporales (diurnas, estacionales e interanuales) (Weng, 2009).



Fuente: [NASA](#)



# Monitoreo de Islas de Calor Urbanas – SUHIs

- Las islas de calor urbanas superficiales (SUHIs) representan la diferencia de la temperatura de la superficie terrestre (LST por sus siglas en inglés) en las áreas urbanas en relación con las no urbanas, así como los "puntos calientes" dentro de las áreas urbanas, y generalmente se miden utilizando datos satelitales.

$$\Delta T_{U-r} = T_U - T_r$$

- Donde  $\Delta T_{U-r}$  es la intensidad de la UHI,  $T_U$  es la temperatura urbana y  $T_r$  es la temperatura rural.
- La intensidad de la isla de calor es el indicador cuantitativo más simple de la modificación térmica que imponen las zonas urbanas respecto a las no urbanas.



# ¿Por Qué las Islas de Calor Urbanas Son un Problema?

- Mayor riesgo de mortalidad y morbilidad relacionadas con el calor
  - Los niños, los adultos mayores y aquellos con condiciones de salud existentes están particularmente en riesgo.
  - Las UHIs contribuyen a las dificultades respiratorias, los calambres por calor y el agotamiento, el golpe de calor no mortal y la mortalidad relacionada con el calor.
- Mayor consumo de energía
  - Las islas de calor aumentan tanto la demanda total de electricidad como la demanda máxima de energía.
  - Durante eventos de calor extremo, la demanda de enfriamiento puede sobrecargar los sistemas y requerir que una empresa de servicios públicos instituya apagones totales o apagones controlados y continuos para evitar cortes de energía.

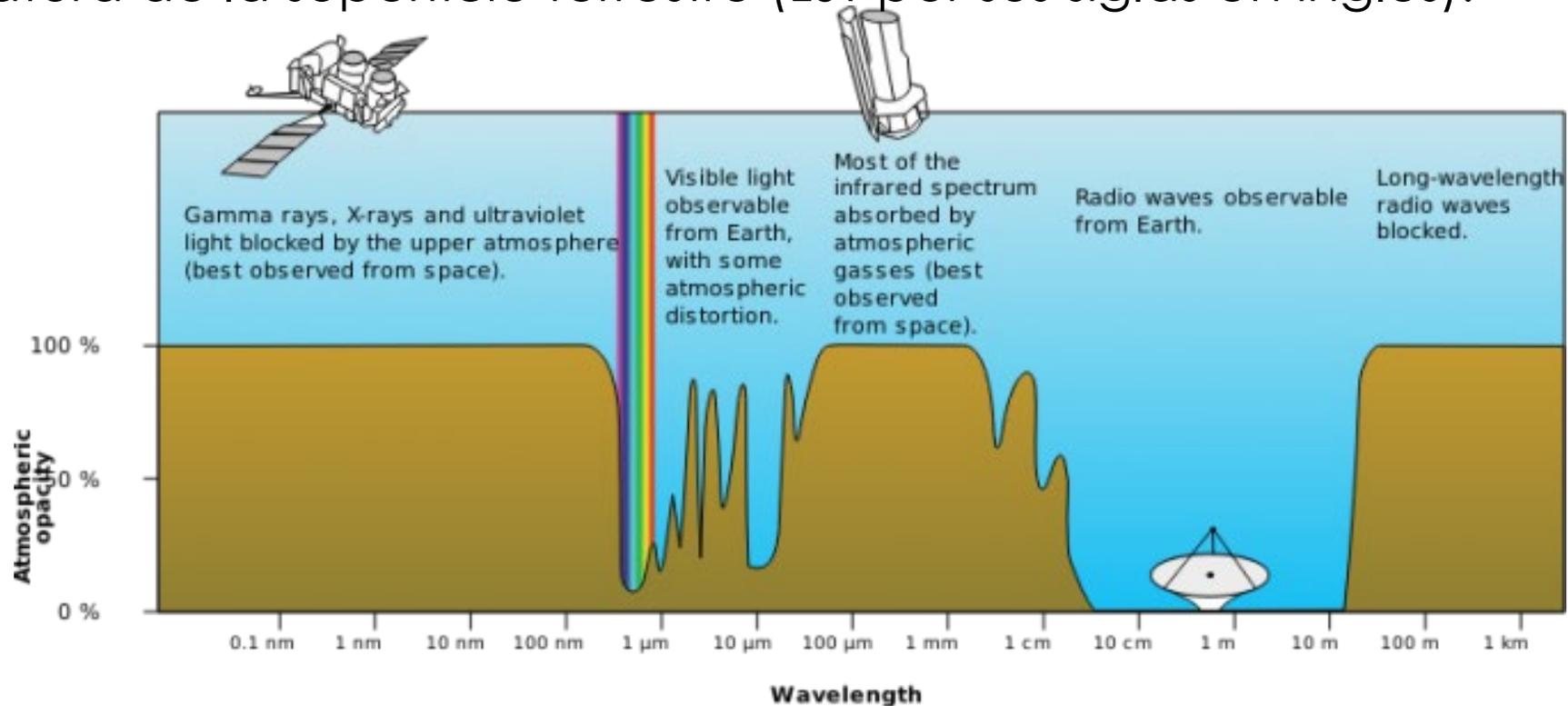


Fuente: [NIEHS](#)



# Teledetección de la Temperatura de la Superficie Terrestre

- Ventana atmosférica: entre aproximadamente 10 y 12 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ), la atmósfera tiene una absorción relativamente baja de la radiación IR emitida por la superficie terrestre. Por lo tanto, esta región espectral se usa para derivar la temperatura de la superficie terrestre (LST por sus siglas en inglés).



Espectro de absorción durante la transición atmosférica de la radiación electromagnética. Fuente: [GIS Geography](https://www.gisgeography.com/)



# Teledetección de la Temperatura de la Superficie Terrestre

Satélite	Sensor	Cobertura Temporal	Órbita y Franja	Bandas Espectrales (μm)	Resolución Espacial	Resolución Temporal
*Landsat 4 Landsat 5 Landsat 7 Landsat 8	Thematic Mapper (TM) Enhanced Thematic Mapper (ETM+) <sup>1</sup> Operational Land Imager (OLI) Thermal Infrared Sensor (TIRS)	7/1982 -12/1993 3/1984 - 01/2013 4/1999 - Hoy 02/2013 - Hoy	Landsat 4-9 Órbita: Polar, 10 am/pm (hora local) Franja: 185 km	10.40 – 12.50 10.40 – 12.50 10.60 – 11.19 11.50 – 12.51 11.50 – 12.51	120 m 60 m 100 m 100 m	16 días
Terra  Aqua	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) & MODIS  MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)	12/1999 - Hoy  04/2002 - Hoy	Terra/Aqua Órbita: Polar, 10:30 (Terra) am/pm & 13:30 (Aqua) am/pm (hora local) Franja: 2330 km	10.78 – 11.28 11.77 – 12.27	1 km	12 horas

\* Landsat 1, 2 y 3 llevaban un escáner multiespectral que no tenía bandas infrarrojas térmicas.

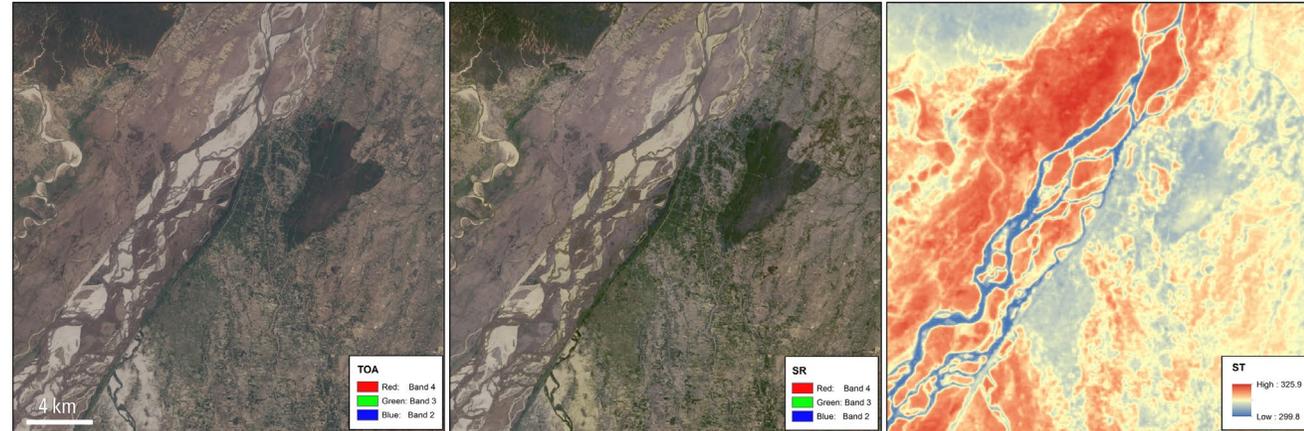
Consulte la capacitación anterior de ARSET para obtener una lista completa de satélites y sensores utilizados para monitorear UHI: <https://appliedsciences.nasa.gov/join-mission/training/english/arset-satellite-remote-sensing-urban-heat-islands>



# Colección Landsat 2

## Segundo gran esfuerzo de reprocesamiento del archivo Landsat

- Ciencia global de Nivel 2 y productos auxiliares atmosféricos
  - Reflectancia superficial
  - **Temperatura de la superficie**
- Precisión geométrica mejorada
- Modelado de elevación digital mejorado
- Calibración radiométrica mejorada
- Bandas de evaluación de calidad consistentes
- Archivos de metadatos actualizados y coherentes
- Formato de archivo optimizado para la nube



Izquierda: Imagen de reflectancia Landsat 8 Colección 2 nivel 1 de la parte superior de la atmósfera, Centro: Imagen de reflectancia superficial Landsat 8 Colección 2 nivel 2 corregida atmosféricamente y Derecha: Imagen Landsat 8 Collection 2 de temperatura superficial de nivel 2 para un área sobre el río Sapta Koshi en Bairawa, Nepal, adquirida el 3 de mayo de 2013. Fuente: [USGS](https://www.usgs.gov)

<https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2>



# Colección Landsat 2 – Temperatura de la Superficie

- Mide la temperatura de la superficie terrestre en Kelvin
- Útil para monitorear:
  - salud de los cultivos y la vegetación
  - olas de calor
  - desastres naturales (por ejemplo, erupciones volcánicas, incendios forestales)
  - efectos de las islas de calor urbanas
- Disponibilidad de productos:
  - Landsat 9: febrero de 2022 al presente
  - Landsat 8: abril 2013 al presente
  - Landsat 7: julio de 1999 a abril de 2022
  - Landsat 5: marzo de 1984 a mayo de 2012
  - Landsat 4: agosto de 1982 a diciembre de 1993



Temperatura de la superficie terrestre de Providence, Rhode Island (EE. UU.) recopilada por Landsat ETM+ el 31 de julio de 2002. Las temperaturas más altas se muestran en amarillo, mientras que las temperaturas frías se muestran en color morado oscuro. Fuente: [NASA](#)



# Temperatura de Superficie MODIS

<https://lpdaac.usgs.gov/products/myd11a1v061/>

- Un algoritmo basado en la física para extraer la LST y la emisividad simultáneamente
- Basado en bandas TIR a una resolución espacial de 1 km
- Basado en el algoritmo de separación de emisividad de temperatura (TES) de ASTER
- Un esquema de corrección atmosférica de vapor de agua mejorado
- Datos globales disponibles desde 2002



# Beneficios de la Teledetección Satelital para Islas de Calor Urbanas

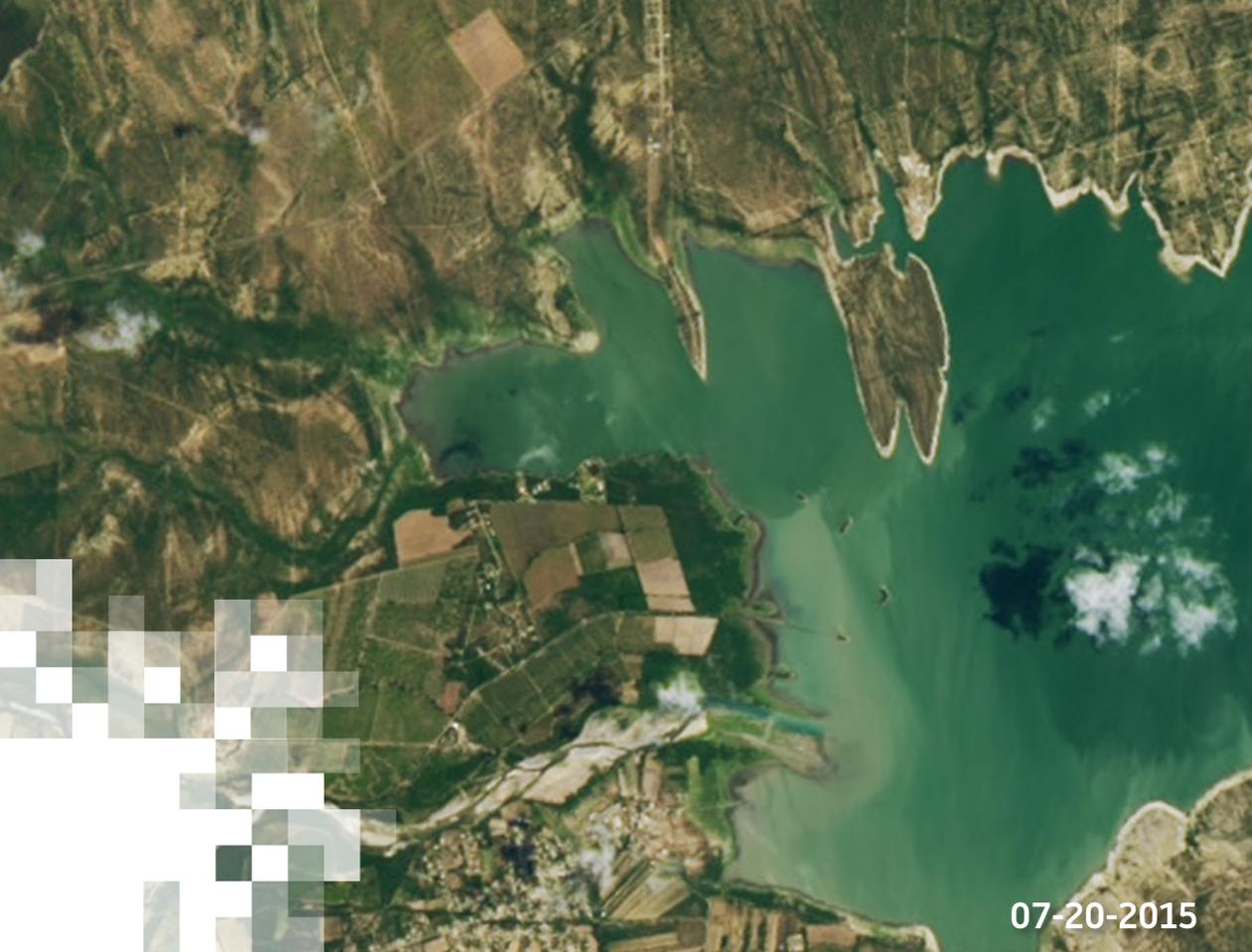
- Cobertura espacial continua en comparación con los datos in situ
- Proporciona datos donde no se dispone de mediciones in situ sistemáticas y aumenta donde se encuentran
- Observaciones simultáneas de LST, emisividad de superficie y cobertura terrestre de varios satélites (p. ej., Landsat/TM, ETM+, OLI & TIRS, MODIS, VIIRS, AVHRR)
- Cobertura de datos global y consistente de muchos satélites
- Disponibilidad de datos de fuente abierta



# Limitaciones de la Teledetección Satelital para Islas de Calor Urbanas

- Los horarios de adquisición de datos de los satélites heliosíncronos normalmente no coinciden con la hora del día en la que la SUHI está en un mínimo o un máximo.
- El satélite más utilizado para la detección de SUHIs (es decir, Landsat) solo tiene datos durante el día.
- Los sensores ópticos no pueden penetrar las nubes o la cubierta vegetal, lo que puede provocar lagunas en los datos o una disminución de la utilidad de los datos.
- La precisión de las estimaciones de la temperatura de la superficie terrestre (LST) depende en gran medida de las correcciones de los efectos atmosféricos y de una estimación precisa de la emisividad de la superficie.
- Las radiancias recibidas por los sensores están influenciadas por el ángulo de captura del sensor.
- Es difícil obtener una alta resolución espectral, espacial y temporal con el mismo instrumento.
- Existe una gran cantidad de datos en varias resoluciones espaciales y temporales, formatos de archivo, tamaños y de múltiples fuentes.





Medición de la Temperatura de la Superficie de Landsat y MODIS Usando Google Earth Engine

# Cálculo de la Temperatura de la Superficie Terrestre en GEE

A continuación se muestran 3 scripts para evaluar las islas de calor urbanas utilizando datos satelitales.

- **Landsat\_LST\_Time\_Series\_Pixel.js**

- Código de ejemplo que muestra cómo graficar una **serie temporal de LST** de Landsat 8 y 9

<https://code.earthengine.google.com/2eae305edb229ae171391b341094fa81>

- **Landsat\_LST\_SUHI.js**

- Código de ejemplo que muestra cómo procesar **SUHI derivado de Landsat** sobre Washington, DC (EE. UU.)

<https://code.earthengine.google.com/8f8a363aa18fa9d16c1fe84991aa4154>

- **MODIS\_LST\_Day\_Night.js**

- Código de ejemplo que muestra cómo procesar **SUHI derivado de MODIS** para el **día** y la **noche** en Washington, DC (EE. UU.)

<https://code.earthengine.google.com/63c37316806efa35321f7e8651429bb2>

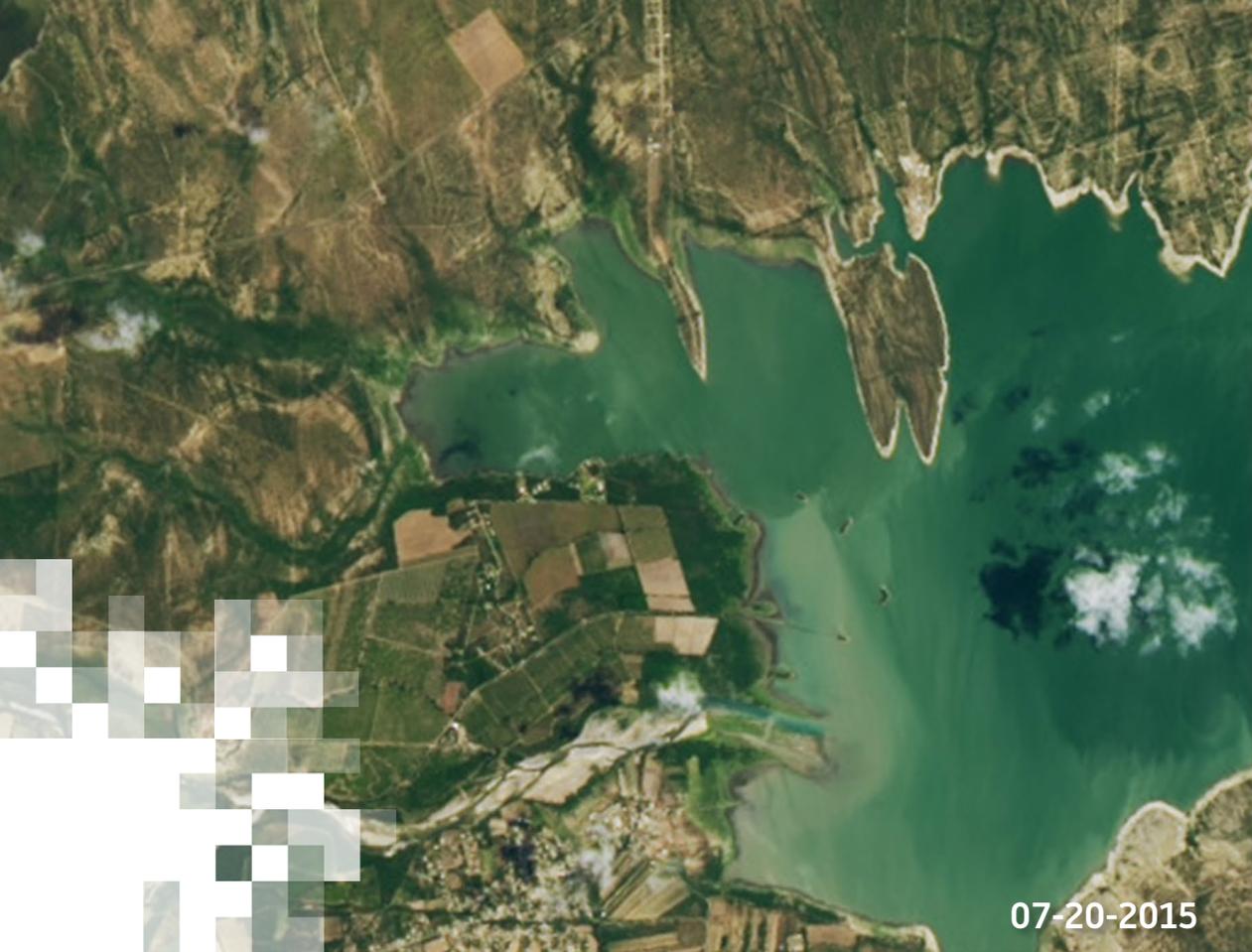


# Cálculo de la Temperatura de la Superficie Terrestre en GEE

- Para modificar los diferentes scripts para su área de estudio, los usuarios necesitarán cambiar los siguientes parámetros:
  - DATE\_RANGE
  - YEAR\_RANGE
  - STUDYBOUNDS
  - DISPLAY
    - point: longitud/latitud del área de interés
    - aoi: rectángulo delineado para el área de interés
    - Rural: polígono(s) delineado(s) para áreas rurales
    - Urbano: polígono(s) delineado(s) para áreas urbanas

```
// Assign a variable to filter the day of year from July 1 t
// Adjust the DATE_RANGE for your own UHI study.
var DATE_RANGE = ee.Filter.dayOfYear(182, 243);
// Assign a variable to filter years from 2010 – 2022.
// Adjust the YEAR_RANGE for your own UHI study.
var YEAR_RANGE = ee.Filter.calendarRange(2010, 2022, 'year');
// Assign a variable to delineate your area of interest
// Create your own aoi using the Geometry tools in the map w
var STUDYBOUNDS = aoi;
// Assign a variable to display images in the map window
var DISPLAY = true;
```





Demostración: Medición de la Temperatura de la Superficie Terrestre desde Landsat y MODIS

# Referencias

- Anniballe, R.; Bonafoni, S.; Pichierri, M. Spatial and temporal trends of the surface and air heat island over Milan using MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 2014, 150, 163–171.
- Cook, M. (2014). Atmospheric Compensation for a Landsat Land Surface Temperature Product. Thesis. Rochester Institute of Technology. Accessed from <http://scholarworks.rit.edu/theses/8513>
- Freitas, S.C.; Trigo, I.F.; Macedo, J.; Barroso, C.; Silva, R.; Perdigão, R.; Freitas, S.C.; Trigo, I.F.; Macedo, J.; Barroso, C.; et al. Land surface temperature from multiple geostationary satellites. *Int. J. Remote Sens.* 2013, 1161, 3051–3068.
- García, D.H. Analysis of Urban Heat Island and Heat Waves Using Sentinel-3 Images: a Study of Andalusian Cities in Spain. *Earth Syst Environ* 6, 199–219 (2022). <https://doi.org/10.1007/s41748-021-00268-9>
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp
- NASA Earth Science Data Systems (ESDS) Program, Extreme Heat Data Pathfinder, <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/pathfinders/disasters/extreme-heat-data-pathfinder>
- NASA Earth Sciences & Science Museum of Virginia, ClimateBits: Urban Heat Island, (En) [https://www.youtube.com/watch?v=Od2d1bYQVHs&ab\\_channel=ClimateBits](https://www.youtube.com/watch?v=Od2d1bYQVHs&ab_channel=ClimateBits) (Sp)[https://www.youtube.com/watch?v=V2Cf6ahbAus&ab\\_channel=ClimateBits](https://www.youtube.com/watch?v=V2Cf6ahbAus&ab_channel=ClimateBits)
- Rozenstein, O.; Qin, Z.; Derimian, Y.; Karnieli, 2014, Derivation of Land Surface Temperature for Landsat-8 TIRS Using a Split Window Algorithm, *Sensors*, 4(4):5768-5780, DOI [10.3390/s140405768](https://doi.org/10.3390/s140405768)
- Tomlinson, C.J., Chapman, L., Thornes, J.E. and Baker, C., 2011, Remote sensing land surface temperature for meteorology and climatology: a review. *Met. Apps*, 18: 296-306. doi:[10.1002/met.287](https://doi.org/10.1002/met.287).
- U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>
- U.S. Environmental Protection Agency. *Heat Island Effect*. 2020, <https://www.epa.gov/heatislands>
- U.S. Geological Survey. Landsat 8-9 Collection 2 Level 2 Science Product Guide. 2022, <https://www.usgs.gov/media/files/landsat-8-9-collection-2-level-2-science-product-guide>
- U.S. Geological Survey. Landsat Collection 2 Level-2 Science Products, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products>
- Weng, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 2009, 64, 335–344.
- Zhou, Decheng, et al. "Satellite Remote Sensing of Surface Urban Heat Islands: Progress, Challenges, and Perspectives." *Remote Sensing*, vol. 11, no. 1, 2018, p. 48., doi:10.3390/rs11010048.
- Zhou S., and J. Cheng, 2020, An Improved Temperature and Emissivity Separation Algorithm for the Advanced Himawari Imager, in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58, 7105-7124, doi: 10.1109/TGRS.2020.2979846.



# Lista de Abreviaturas

**ARSET** – Applied Remote Sensing Training Program

**ASTER GED** – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Emissivity Database

**AUHI** – Atmospheric Urban Heat Island

**BLHI** – Boundary Layer Heat Island

**CLHI** – Canopy Layer Heat Island

**ETM+** – Enhanced Thematic Mapper Plus

**GEE** – Google Earth Engine

**JPL** – Jet Propulsion Laboratory

**LP DAAC** – Land Processes Distributed Active Archive Center

**LST** – Land Surface Temperature

**MODIS** – Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

**MOD** – MODIS Terra

**MYD** – MODIS Aqua

**NASA** – National Aeronautics and Space Administration

**NCAR** – National Center for Atmospheric Research

**OLI** – Operational Land Imager

**QA\_PIXEL** – Pixel Quality Assessment

**SUHI** – Surface Urban Heat Island

**ST** – Surface Temperature

**TOA** – Top of Atmosphere

**TIRS** – Thermal Infrared Sensor

**TM** – Thematic Mapper

**TIR** – Thermal Infrared

**UHI** – Urban Heat Island

**USGS** – U.S. Geological Survey

