



Líder Unidad
de Modelado
Ecosistémico,
Programa de Bosques,
Biodiversidad y
Cambio Climático,
CATIE ([lenin.
corrales@catie.ac.cr](mailto:lenin.corrales@catie.ac.cr))

La función de la conectividad y la infraestructura verde urbana en la adaptación al cambio climático

..... || **Lenin Corrales**



El crecimiento de la población y los modelos económicos prevalecientes sirven como mecanismos de empuje de la migración rural a los centros urbanos, generando presiones ambientales, sociales y ecológicas que representan no solo una gran amenaza para la biodiversidad, sino para el bienestar de los habitantes de una ciudad. Este proceso de urbanización presente en la mayor parte de los países del mundo también está presente en Costa Rica donde la expansión de los núcleos urbanos se está convirtiendo en el hábitat humano predominante ya que la población urbana pasó de representar un 59.0 % en el año 2000, a un 72.8 % en el 2011. En otras palabras, actualmente residen en zonas urbanas 7 de cada 10 habitantes del país¹. Si a esto le añadimos que, en promedio, la temperatura en la ciudad de San José se ha incrementado en 1.60 °C desde 1960² estamos frente a núcleos urbanos que vienen sufriendo un calentamiento.

1 <http://inec.cr/censos/censos-2011>

2 <http://berkeleyearth.lbl.gov/locations/10.45N-84.27W>

A lo anterior debemos agregarle las advertencias del Quinto Informe de Evaluación sobre Cambio Climático sobre una base de confianza alta, de que en la región centroamericana el fenómeno Niño-Oscilación del Sur (ENOS) seguirá siendo el modo dominante de la variabilidad climática natural en el siglo XXI y que es probable que aparezcan episodios de ondas de calor sin antecedentes históricos hasta ahora en la región, además de una señal con alta certidumbre en reducción fuerte en la disponibilidad de agua, frecuencia de sequías y episodios de precipitaciones extremas, lo que comprometería más el bienestar humano en espacios urbanos (IPCC, 2013).

Las ciudades también son espacios en donde los riesgos asociados con el calentamiento de 1.5 °C, como el estrés por calor, las inundaciones terrestres y costeras, los nuevos vectores de enfermedades, la contaminación del aire y la escasez de agua, se unirán (Satterthwaite y Bartlett, 2017), lo que sugiere que los esfuerzos de adaptación y mitigación no solo se deben diseñar en torno a la necesidad de descarbonizar sino también se debe prestar atención a la equidad social (incluida la equidad de género), la ecología urbana (Brown y McGranahan, 2016; Wachsmuth *et al.*, 2016; Ziervogel *et al.*, 2016a) y la participación en grupos organizados para la acción climática (Cole, 2015; Jordan *et al.*, 2015).

Una de las formas más económicas de combatir el calentamiento de la ciudad es mantener abundante vegetación. Esta en zonas urbanas tiene múltiples funciones, pero el papel principal es ayudar a mantener la calidad del ambiente urbano, ya que contribuye a ajustar las condiciones micro climáticas, limpiar contaminantes del aire, reducir el polvo, amortiguar el ruido, mantener el equilibrio ecológico y reducir la escorrentía de aguas pluviales y proteger contra la erosión, además, de la estética de la ciudad y los fines educativos (Gaoming, 2012).

La preocupación por cambiar la visión clásica de la naturaleza urbana donde la biodiversidad y las áreas verdes se ven como componentes ornamentales o accesorios en las ciudades data de propuestas del Siglo XIX donde se proponía crear redes interconectadas de parques urbanos y periurbanos, que más tarde en la década de 1990 ante la expansión urbana en los Estados Unidos, se sugiere elevar a un concepto de infraestructura verde buscando elevar el concepto al mismo nivel del de infraestructura gris; así, actualmente se toma el concepto de ecosistema urbano como infraestructura, convirtiéndolo en una poderosa metáfora para integrarlos a las diferentes agendas políticas (por ejemplo, mitigación y adaptación al clima, conservación de la biodiversidad, planificación urbana, producción y consumo sostenible) en todas las escalas espaciales y de gobierno e integrar la conservación de la naturaleza

en los esfuerzos de desarrollo humano (Da Silva y Wheeler, 2017).

Lo que hoy se conoce como infraestructura verde es, en sí misma, una forma de apoyar los entornos urbanos a adaptarse a los cambios del clima y que como medida de adaptación tiene dos áreas clave de beneficio en particular. En primer lugar, contribuye a aumentar la resiliencia de habitantes urbanos protegiéndoles de aumentos de la temperatura exacerbada por la infraestructura gris, los vientos más fuertes, los cambios en los patrones de precipitación y el aumento de las inundaciones; de esta manera se puede considerar que la infraestructura verde ofrece servicios directos a corto y largo plazo. En segundo lugar, juega un papel predominante en la conservación de la biodiversidad urbana ya que crea hábitats para las plantas y animales (Pitman, 2015).

La adaptación al cambio climático se ha venido convirtiendo en un elemento central de la política y la investigación sobre el clima y ahora en el presente con un llamado a la adaptación basada en ecosistemas o a la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza para enfrentar los cambios en el clima; sin embargo, la infraestructura verde no ha sido ampliamente reconocida como una medida de adaptación, ya que existen pocos ejemplos de su efectividad a través de métricas (Knight *et al.*, 2010). Esto está por cambiar, ya que a través de algunos ejemplos basados en la literatura científica se está demostrando que en un núcleo urbano con mayor presencia

de infraestructura verde es posible ver diferencias significativas en el clima y en el bienestar de las comunidades urbanas (Natural England, 2013).

La presencia o escases de vegetación en una ciudad es un factor esencial en su calefacción, mostrando diferencias en la temperatura entre sitios sin o poco arbolados y los vecindarios ricos en cobertura arbórea (Bounoua *et al.*, 2015). En Reino Unido, por ejemplo, mientras la temperatura superficial máxima de los bosques urbanos fue de 18.4 °C, los centros urbanos con la menor cobertura arbórea llegaron a reportar temperaturas superficiales máximas de 31.2 °C (Pramova *et al.*, 2012); En New Jersey, Estados Unidos, se mostró reducción de temperatura en rangos de 3 °C a 7 °C con relación a las que no tienen árboles (Solecki, 2005), mientras que en la ciudad de Tokio se ha registrado diferenciales de hasta 12 °C (Wickham, 2013). En Latinoamérica, en la ciudad de Sao Paulo, la diferencia de las temperaturas ambientales en la ciudad puede variar hasta en 10 °C, en la ciudad de Caracas se han documentado anomalías de temperatura ambiental también en el rango de los 10 °C (Córdova., 2011) y en Mexicali, México la diferencia máxima entre la ciudad y sus alrededores ocurre en invierno con un valor de 5.7 °C (Villanueva *et al.*, 2013).

En Costa Rica en el año 2018, la Municipalidad de Curridabat inició con el apoyo de la Unidad de Modelado Ecosistémico del CATIE una serie de valoraciones

relacionadas con la distribución de la temperatura superficial del cantón, analizando las temperaturas superficiales máximas con tecnología geoespacial en un periodo comprendido entre el 1 de enero de 2016 y el 31 de octubre de 2018 (34 meses) obteniendo como resultado una capa con el promedio de las temperaturas superficiales máximas. La estadística descriptiva de los datos muestra que la temperatura máxima superficial promedio es de 41.0 °C, con una mínima de 31.9 °C y una máxima de 49.2 °C lo que da una diferencia de temperatura máxima en el

cantón de 8.2 °C (Ver **Figura 1**). Espacialmente, se observa un gradiente de temperatura que corre de norte a sur, en donde las temperaturas más bajas se presentan hacia el centro-norte del cantón (distrito Curridabat) y la extremas hacia el sur (distrito Tirrasés y parte sur del distrito Sánchez). Esta distribución está altamente correlacionada con la densidad de construcción (zonas más calientes) y temperaturas más bajas en los sectores del cantón con menor densidad de urbanización (distrito Granadilla y Norte de distrito Sánchez), presencia de arbolados,

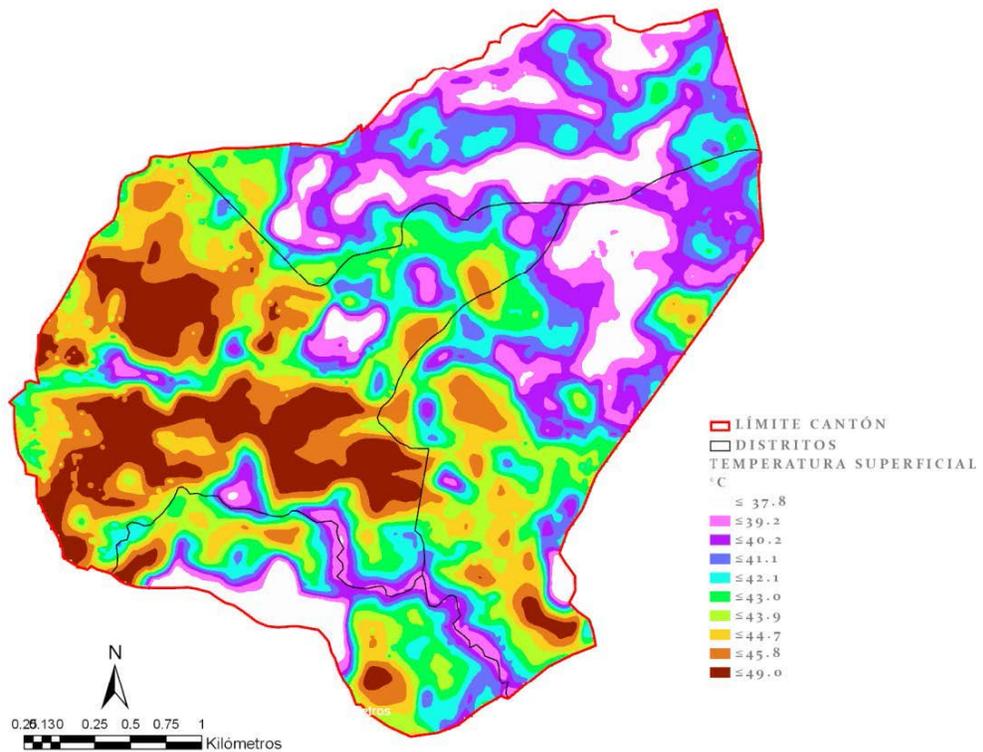


Figura 1. Distribución de la temperatura superficial máxima en el Cantón de Curridabat. **Fuente:** Municipalidad de Curridabat (2019)

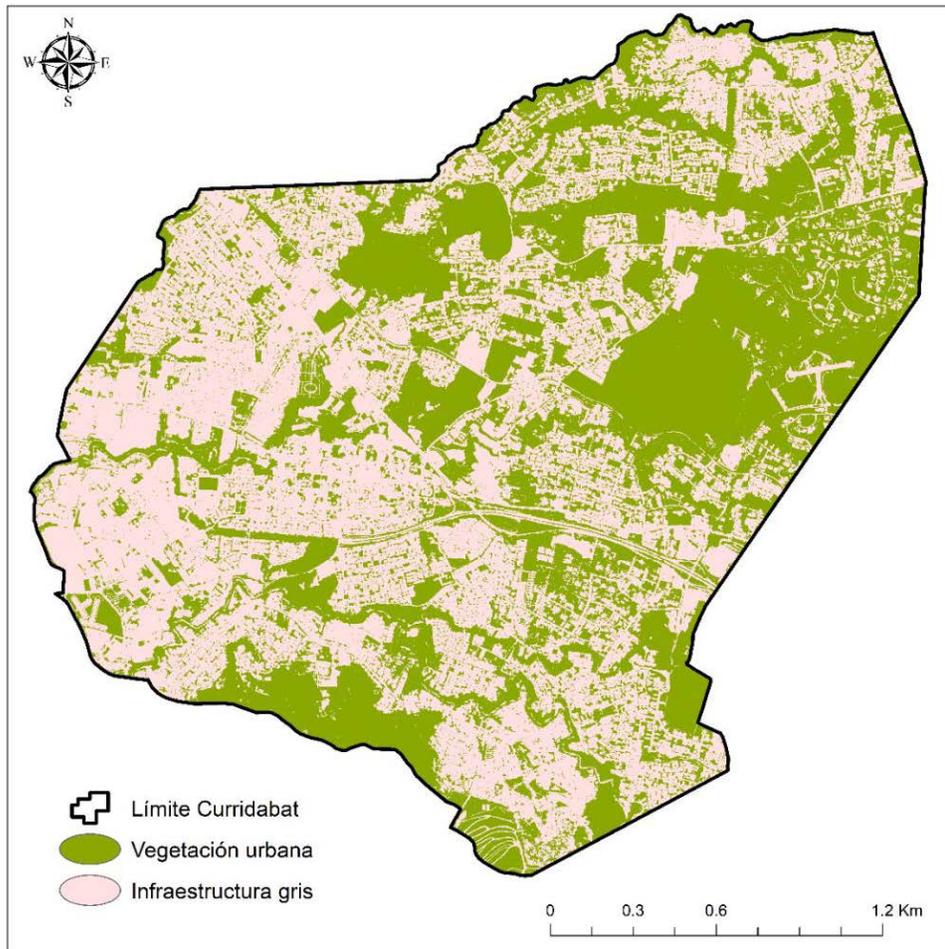


Figura 2. Infraestructura verde del cantón de Curridabat (2019).
Fuente: Municipalidad de Curridabat (2019).

zonas verdes, cafetales y franjas de vegetación ribereña (Municipalidad de Curridabat, 2019).

Posteriormente, en seguimiento al estudio de la relación entre la infraestructura verde y la temperatura superficial, la Municipalidad de Curridabat, igualmente en asocio con el CATIE, generó un mapa de cobertura de vegetación empleando imágenes de satélite del sensor World View 3 a una escala de resolución de 30 cm.

Los resultados del análisis muestran que el cantón de Curridabat conserva aún un 47.3 % de vegetación distribuido entre remanentes de bosque, arbolados, parques municipales, cafetales arbolados, patios y jardines y otras áreas verdes (Ver **Figura 2**). El distrito con la mayor cobertura de vegetación del cantón es Sánchez con un 37.3 %, seguido de Curridabat y Granadilla con valores de 25.5 % y 25.2 % respectivamente, mientras que

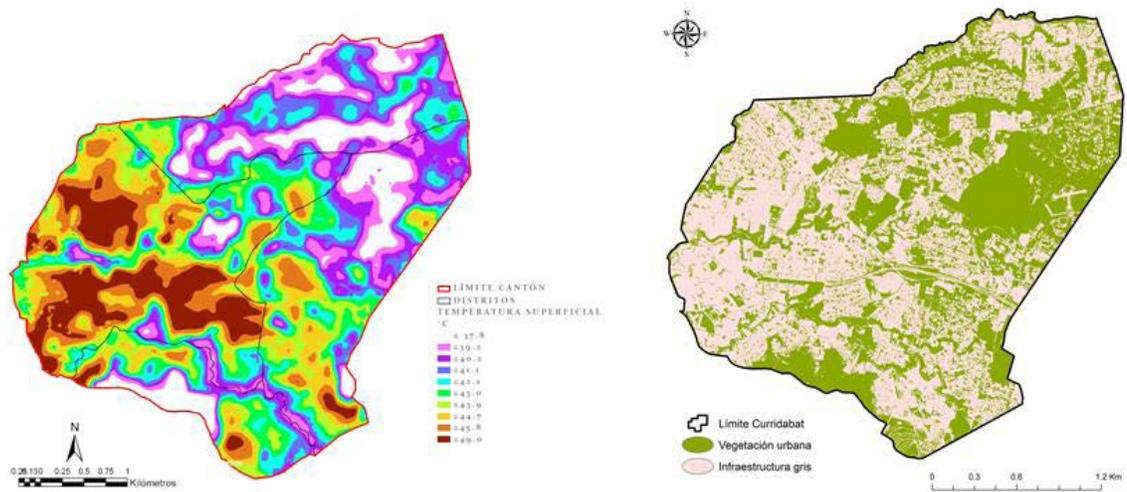


Figura 3. Temperatura y vegetación en el cantón de Curridabat (El mapa de la izquierda muestra las áreas más cálidas de color marrón y café y las de menor temperatura de color blanco y rosado. Se observa que las áreas con más vegetación en el mapa de la derecha corresponden a las áreas más frías del mapa de la izquierda). **Fuente:** Municipalidad de Curridabat (2019).

el distrito de Tirrases es el que presenta menor proporción de vegetación con 12.1 % en relación a la extensión de total de vegetación en el cantón (Municipalidad de Curridabat, 2019b).

En la **Figura 3** observamos que las áreas de infraestructura gris muestran los valores más altos de temperatura superficial, mientras que las zonas con menores temperaturas superficial están asociadas con aquellas localidades donde permanece algún tipo de infraestructura verde. Estos resultados sugieren que el mantenimiento de la infraestructura urbana constituye una medida de adaptación basada en soluciones naturales tal y como lo proponen algunos gobiernos y organizaciones alrededor del mundo. No obstante, surgen algunas preocupaciones adicionales ya que en el futuro

con menos disponibilidad de agua, en tiempos de sequía como lo prevén los escenarios de cambio climático, su mantenimiento podría entrar en competencia con otros usos del agua, sumado a otras preocupaciones importantes que están relacionados con los costos de oportunidad de la expansión urbana y al hecho de que muchos de los espacios que se deberían conservar están en propiedades privadas, lo que va a demandar la toma de decisiones para lograr un balance entre el interés individual y el interés colectivo ante la amenaza del cambio climático.

Si se empieza a demostrar la estrecha relación que existe entre la temperatura superficial y la vegetación en la ciudad, pero a la vez que estamos frente a una demanda cada vez mayor de las tierras para el desarrollo urbano, lo que debemos

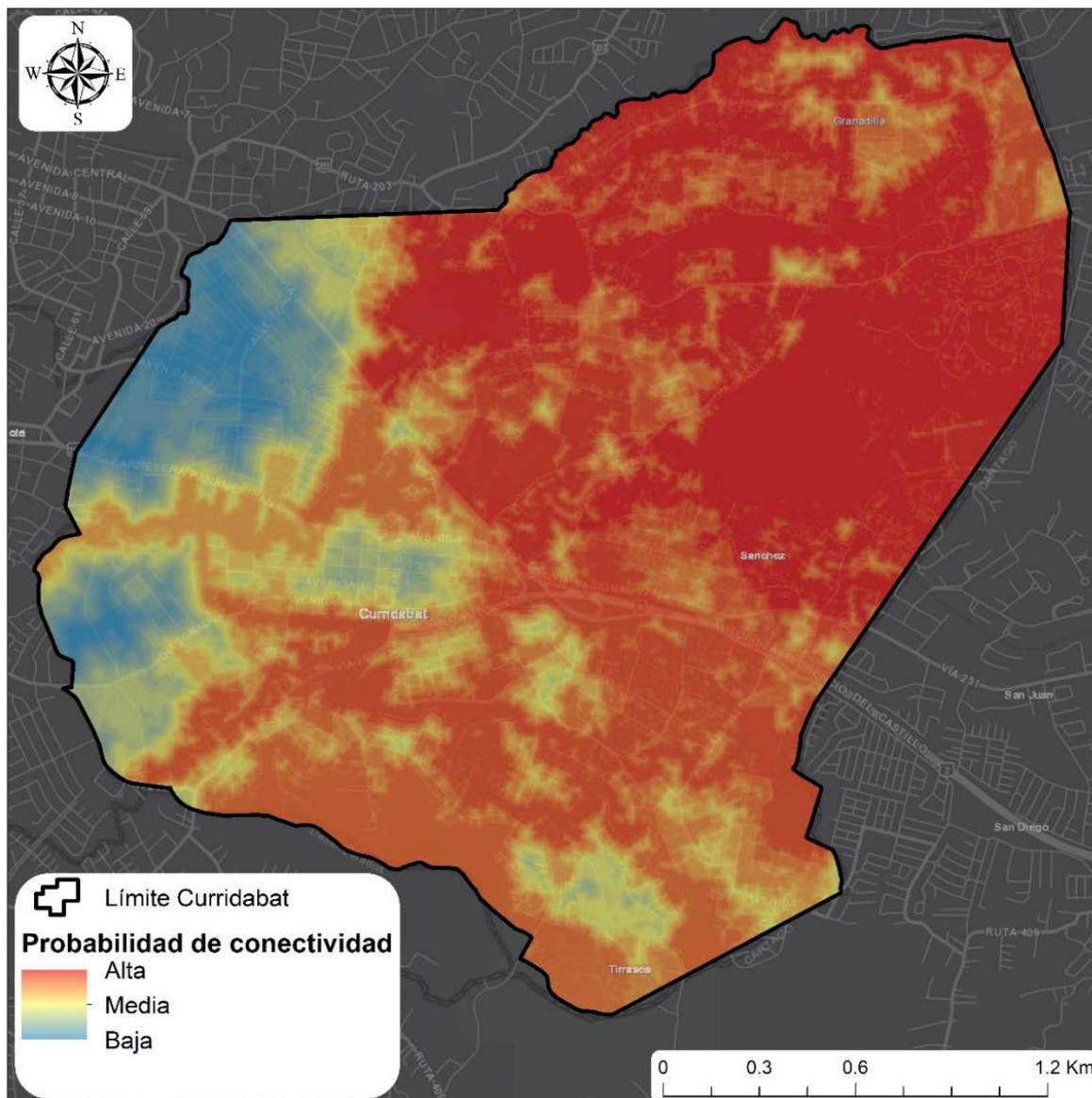


Figura 4. Probabilidad de conectividad total en el cantón de Curridabat. **Fuente:** Municipalidad de Curridabat (2019). **Fuente:** Municipalidad de Curridabat (2019).

buscar es un balance, que en primera instancia permita que la ciudad se enfríe y que los nuevos desarrollos no provoquen un mayor calentamiento más allá de lo normal, y en segunda instancia, lograr el

mantenimiento de la funcionalidad de las redes ecológicas que persisten en la ciudad a través de una mayor conectividad.

Para atender este tema, la Municipalidad de Curridabat ha promovido la

realización de un análisis de conectividad que les permita obtener información para lograr una mejor planificación del espacio urbano. Para lograr el objetivo se realizó un análisis de conectividad funcional a partir de la construcción de un mapa de hábitat ecológico de la ciudad derivado del mapa de infraestructura verde (**Figura 2**). Como grupo de especies objetivo, se utiliza un inventario de aves del cantón de 179 especies y 4 643 registros, siguiendo las recomendaciones de Blair (1996), el cual establece que en estudios de conectividad en ciudades nos debemos centrar en las aves silvestres ya que son un taxón altamente móvil capaz de penetrar toda la matriz urbana. Cada especie de ave es caracterizada según su estado de conservación (Lista roja de la UICN, 2019; Lista de especies amenazadas de SINAC, 2017), su distribución, tipo de migración que realiza, tipo de hábitat preferencial, dieta y peso, datos que son utilizados para calcular la capacidad de dispersión media (Municipalidad de Curridabat, 2019b).

La **Figura 4** muestra el resultado del análisis a través de un mapa que refleja de la probabilidad de conectividad global del cantón donde se muestra que los valores más altos de conectividad se observan hacia el este del cantón principalmente en los distritos de Sánchez y Granadilla, disminuyendo hacia el sur donde se encuentra el distrito de Tirrases. En la parte oeste del cantón, principalmente lo cubierto por el distrito de Curridabat, presenta los valores más bajos de probabilidad de conectividad. Es importante notar que a pesar de

que al sur del cantón se encuentra un importante remanente de bosque en el cerro La Colina, la conectividad en relación con el resto del cantón presenta valores más bajos. Esos resultados comparados con la **Figura 2** muestran nuevamente la estrecha relación de que si utilizamos la vegetación urbana para enfrentar efectos del cambio climático, podemos a la vez favorecer la permanencia de la biodiversidad urbana y también mantener su conectividad y el bienestar de los habitantes a través de los servicios ecosistémicos que provee.

Referencias

- Blair, R. (1996). Land use and Avian Species diversity along an urban gradient. *Ecological Applications*, 6(2), 506-519. Disponible en <https://www.jstor.org/stable/2269387>
- Bounoua, L. et al. (2015). Impact of urbanization on US surface climate. *Environmental Research Letters*, 10 (8), 084010. <http://www.doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/084010>
- Brown, D., y McGranahan, G. (2016). The urban informal economy, local inclusion and achieving a global Green transformation. *Habitat International*, 53, 97-105.
- Cole, D. (2015b). Advantages of a polycentric approach to climate change policy. *Nature Climate Change* 5, 114–118
- Córdova, K. (2011). Impacto de las islas térmicas o islas de calor urbano, en el ambiente y la salud humana. Análisis estacional comparativo: Caracas, octubre-2009, marzo-2010. Terra. Nueva Etapa. 27(42).
- Da Silva J., Wheeler E. (2017). Ecosystems as infrastructure. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15, 32–35 <http://dx.doi.org/10.1016/j.pecon.2016.11.005>

- Gaoming, J. y Wenjing, B. (2012). Urban Vegetation. En Berkshire Encyclopedia of Sustainability: *Ecosystem Management and Sustainability* (Vol.5). Berkshire Publishing Group
- IPCC (2013). Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <http://www.doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- IUCN. (2019). *The IUCN Red List of Threatened Species. Version (2019-2)*. Recuperado de <http://www.iucnredlist.org>
- Jordan, A. J., Huitema, D., Hildén, M., van Asselt, H., Rayner, T. J., Schoenefeld, J. J., et al. (2015). Emergence of polycentric climate governance and its future prospects. *Nature Climate Change* 5, 977–982. <http://www.doi.org/10.1038/nclimate2725>
- Knight, T., Bowler, D., Buyung-Ali, Pullin, A. (2010). Urban greening to cool towns and cities: a systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3), 147-155.
- Municipalidad de Curridabat. (2019). Islas de calor, impactos y respuestas: El caso del cantón de Curridabat. Curridabat, Costa Rica.
- Municipalidad de Curridabat. (2019b). Evaluación de la infraestructura verde y conectividad ecológica en el cantón de Curridabat. Curridabat, Costa Rica.
- Natural England. (2013). Green infrastructure: Valuation tools assessment. Natural England Commissioned Report NECR126. Recuperado de <http://publications.naturalengland.org.uk/publication/6264318517575680>
- Pitman S. D., Christopher B. D. & Martin E. E. (2015). Green infrastructure as life support: urban nature and climate change. *Transactions of the Royal Society of South Australia*, 139:1, 97-112.
- Pramova E., Locatelli B., Djoudi H., Somorin O. (2012). Forests and trees for social adaptation to climate variability and change. *WIREs Clim Change* 2012, 3:581–596. <http://www.doi.org/10.1002/wcc.195>
- SINAC. (2017). Listado de especies de fauna silvestre en peligro de extinción. R-SINAC-CONAC-092-2017.
- Solecki W., Rosenzweig C., Parshall C., Pope G., Clark M., Cox J., Wiencke M. (2005). Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, 6(1), 39-49.
- Satterthwaite D., & Bartlett S. (2017). The full spectrum of risk in urban centres: Changing perceptions, changing priorities. *Environment and Urbanization*, 29(1), 3-14.
- Villanueva J., Ranfla A., Quintanilla A. (2013). Isla de Calor Urbana: Modelación Dinámica y Evaluación de medidas de Mitigación en Ciudades de Clima árido Extremo. *Información Tecnológica*, 24(1), 15-24.
- Wachsmuth D., Aldana D., & Angelo H. (2016). Expand frontiers of urban sustainability. *Nature*. 536 (7617), 391-393.
- Wickham, C., Rohde, R., Muller, R.A., Wurtele, J., Curry, J., et al. (2013). Influence of Urban Heating on the Global Temperature Land Average using Rural Sites Identified from MODIS Classifications. *Geoinfor Geostat: An Overview 1:2*. <http://www.doi.org/10.4172/2327-4581.1000104>
- Ziervogel, G., Cowen, A., and Ziniades, J. (2016). Moving from Adaptive to Transformative Capacity: Building Foundations for Inclusive, Thriving, and Regenerative Urban Settlements. *Sustainability* 8, 955