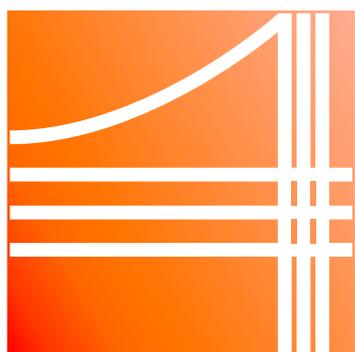


# VII CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE SIMULAÇÃO DE EDIFÍCIOS



**IBPSA LATAM**  
9-10 MAR | 2023  
**FLORIANÓPOLIS**

**Ana Paula Melo**  
**Larissa Pereira de Souza**  
**Matheus Soares Geraldi**  
**Roberto Lamberts**  
**organizadores**

## Evaluación del Desempeño Térmico de Densificar Diversas Formas Urbanas. Estudio para una Ciudad Árida Durante el Periodo de Verano

María Belén Sosa<sup>1</sup>, Erica Correa<sup>1</sup>, María Alicia Cantón<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ambiente, Hábitat y Energía (INAHE), CONICET, Mendoza, Argentina

### Resumen

La extensión física de las ciudades consume cada vez más suelo, y modifica las condiciones microclimáticas. Este trabajo investiga las relaciones entre forma, densidad y compacidad del ambiente construido y el comportamiento térmico para cuantificar el impacto que genera densificar barrios residenciales de baja densidad implantados en zonas áridas durante el verano. Para ello se caracterizó, monitoreó térmicamente, modeló y ajustó con el software ENVI-met, 21 escenarios. Los hallazgos muestran que un aumento en la densidad no siempre compromete el comportamiento térmico exterior. Se identificó que mantener constante el valor de compacidad en las manzanas contribuye a disminuir el impacto térmico dentro de un área. Los resultados buscan promover la inclusión del diagnóstico microclimático de áreas urbanas consolidadas y en desarrollo, en pos de mejorar la calidad medioambiental de las ciudades.

### Introducción

El último informe de UN-HABITAT indica que el mundo continúa experimentando un aumento de la población que habita en las ciudades. Aunque, las huellas urbanas están creciendo más rápido que la población, en el contexto latinoamericano la expansión aumentó 3.5 veces en relación con el crecimiento de la población urbana y se estima que para 2030 las ciudades cubran tres veces más tierra que en el año 2000, con gran parte de esta expansión en sectores críticos de biodiversidad (Informe mundial de las ciudades, 2020).

La expansión desenfadada de las áreas urbanas impacta en el consumo de energía, las emisiones de gases de efecto invernadero, el cambio climático y la degradación ambiental (IPCC, 2021). En particular, la forma de crecimiento y disposición de esta expansión de superficie urbanizada modifica, entre otros factores, las condiciones microclimáticas del sitio de inserción (Castillo et al., 2021; Sosa et al., 2020; Higuera, 2006). Entre los mayores impactos sobre estos patrones se destacan los fenómenos de isla de calor, olas de calor y calentamiento urbano (Harmay y Choi, 2022; Lemoine Rodríguez, 2021, Correa, 2006). Siendo estos fenómenos de mayor ocurrencia e impacto en ciudades insertas en climas áridos (Dargahian et al., 2021; Haddad et al., 2019; Ghobadi et al., 2018). En este sentido, la forma, tamaño y disposición de la ciudad, la contaminación atmosférica, el calor generado por diversas fuentes antropogénicas, las propiedades termofísicas de las superficies, la sustitución

de vegetación por superficies impermeables, y el aumento de la rugosidad; son los factores que comúnmente alteran las variables microclimáticas y propician la formación de estos fenómenos (Stocco et al., 2021; Alchapar y Correa, 2020; Ruiz et al., 2017).

En la actualidad, el reto de alcanzar desarrollos urbanos sostenibles demanda generar nuevos planteamientos para planificar las áreas urbanas. Esta brecha de investigación se ha explorado parcialmente para las ciudades de zonas áridas, donde se deben replantear los enfoques de planificación a través de los aportes de la investigación y el análisis de casos exitosos que pueda aliviar los efectos negativos de la expansión urbana sobre este clima extremo (Arup 2018).

La forma urbana, entendida como la combinación entre tramas, perfiles y huellas de edificios, es un elemento primordial a considerar para generar espacios exteriores térmicamente habitables, que permiten alcanzar la sostenibilidad ambiental en una comunidad. En este sentido, el diseño urbano compacto ha sido ampliamente reconocido como una herramienta de planificación eficaz y como una forma urbana deseable que permite reducir la huella de carbono, el consumo de energía asociado al transporte (Ma et al., 2015) y la calefacción de las viviendas (Liu y Sweeney, 2012); al mismo tiempo que proporciona servicios accesibles y eficientes a los habitantes (Chao et al., 2019). El desafío se encuentra entonces en poder predecir el impacto térmico de densificar sectores consolidados de una ciudad para alcanzar este modelo de desarrollo compacto, a través de generar y transformar conocimiento científico en herramientas de planificación que sean aplicables al diseño de ciudades más sostenibles (Sosa et al., 2021).

Es por ello que, este trabajo investiga las relaciones entre la combinación de forma, densidad y compacidad del ambiente construido y la respuesta del comportamiento microclimático (temperatura del aire), enfocado en la escala de barrio. El objetivo de este trabajo es cuantificar el impacto microclimático que genera densificar áreas urbanas consolidadas, a través de analizar el comportamiento térmico exterior de diferentes combinaciones entre formas de tramas y huellas de edificios utilizando una herramienta de simulación a escala urbana (ENVI-met).

### Metodología

El abordaje de este trabajo parte de estudios previamente desarrollados por Sosa et al, (2017 y 2018 a y b) donde se

caracterizaron, monitorearon térmicamente, modelaron y ajustaron durante un periodo de verano en el software ENVI-met tres barrios de baja densidad con diferentes formas de tramas: racional, cul-de-sac y orgánica. Estos resultados preliminares permitieron continuar con la investigación en términos de analizar cómo se modifica el comportamiento térmico exterior, durante el verano, al aumentar la densidad en barrios consolidados del Área Metropolitana de Mendoza (AMM).

**Escenarios urbanos**

Los escenarios urbanos se diseñaron manteniendo constante una serie de variables tanto morfológicas como materiales y de infraestructura verde, que permiten contrastar el comportamiento térmico resultante. Se generaron un conjunto de 21 escenarios, que resultan de combinar las tres formas de trama -racional, cul-de-sac y orgánica-, con viviendas unifamiliares de un nivel (3 m de altura) y con edificios multifamiliares de tres niveles (9 m de altura), dentro de un área de 250 m x 250 m. Los escenarios se rigen por los lineamientos de la Ley de Loteo de Mendoza (4341/1978), y poseen las siguientes características morfológicas: 20 m de ancho de calle, 110 m de largo de manzana, 50 m de ancho de manzana, orientación manzanas este-oeste. En términos de distribución de densidades y tipos de viviendas para cada forma de trama, se ubicaron en las cuatro manzanas centrales los edificios multifamiliares y se mantuvieron las viviendas unifamiliares en las manzanas de borde de cada barrio. En cuanto a las formas de huella de los edificios multifamiliares, se diseñaron cuatro alternativas que generan un total de siete posibles combinaciones -cinta orientada E-O y N-S, forma de “U”, forma de “U” en espejo, peine, peine en espejo, y caja-. Cada huella de edificio mantiene constante el valor de compacidad (0.45) en cada manzana -relación entre áreas abiertas y construidas-, lo que varía es la forma de distribución y agrupamiento según disposición del edificio. Siendo, la superficie de huella de edificio 2592 m<sup>2</sup> y la del espacio abierto de 3145 m<sup>2</sup> para todos los escenarios. La Figura 1 muestra las 21 combinaciones obtenidas.

**Estrategias de disminución del calentamiento urbano**

Como fue mencionado, este trabajo se enfoca en cuantificar el impacto microclimático que genera densificar áreas urbanas consolidadas. Por ello, en cada escenario se incorporaron y combinaron dos estrategias reconocidas como las más eficientes en términos de disminución de los fenómenos de isla de calor y calentamiento urbano para zonas áridas (Sosa et al., 2020). Una de ellas relacionada a disponer árboles de alineación de manera regular y en ambos lados de cada calle -cada 6 m- que permiten generar sombras homogéneas sobre las superficies exteriores (Ruiz et al., 2017); y la segunda relacionada a mejorar los albedos de materiales de techos (0.7), paredes (0.3) y calles (0.5), valores recomendados para el AMM por Alchapar y Correa, (2015).

**Simulación microclimática**

La temperatura del aire se obtuvo mediante simulaciones con el software ENVI-met previamente ajustadas con los datos microclimáticos obtenidos *in situ* en los tres casos base (Sosa et al., 2018). Los escenarios se modelaron dentro de un área horizontal de 258 m x 258 m (compuesta por grillas de 86 x 86 celdas de 3 x 3 m, dejando 4 celdas a cada lado como áreas de anidamiento). Se utilizaron un total de ocho receptores ubicados en el centro de cada canal vial, para cada escenario: tres se colocaron a lo largo del cañón urbano central de media densidad; uno en el centro del espacio público abierto alrededor de los edificios; y los otros cuatro se ubicaron dentro de los límites del área urbana de baja densidad. En cuanto a las especies arbóreas, se seleccionó el modelo “Tb” (10 m de altura, LAD entre 0,80 y 2,00 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) de la base de datos ENVI-met PLANTS. Este modelo corresponde a *Morus Alba*, árbol de segunda magnitud. La Figura 2 muestra la distribución de los receptores en el modelo de simulación.

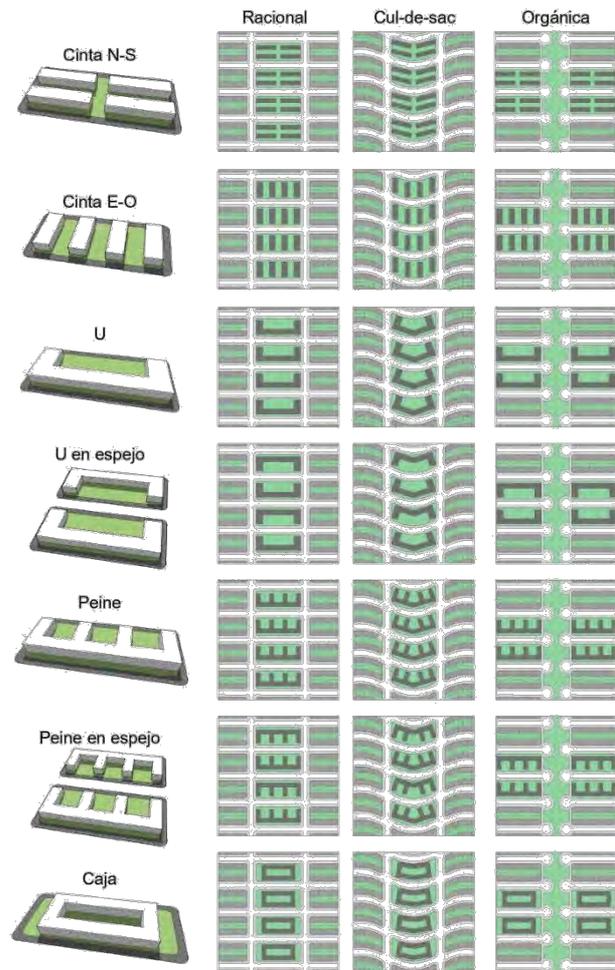


Figura 1: Escenarios urbanos.

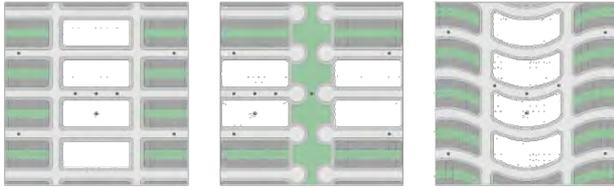


Figura 2: Ubicación de los receptores en el modelo.

**Resultados**

El análisis del comportamiento térmico, obtenido mediante las simulaciones en ENVI-met, se presenta en tres etapas: (i) contraste dentro de cada forma de trama (comportamiento promedio de los tres receptores ubicados a lo largo del cañón urbano central - CU); (ii) contraste del espacio abierto público (receptor ubicado en el centro alrededor de los edificios de media densidad - C); y (iii) contraste de los bordes de baja densidad (comportamiento promedio de los cuatro receptores ubicados en los bordes - B). La Figura 3 muestra los valores de la temperatura del aire máxima, mínima y promedio de cada receptor a 2m de altura para los 21 escenarios, como así también el comportamiento del caso base de baja densidad. Cabe aclarar, que el caso base no posee respuesta térmica a contrastar en la escala del espacio abierto público, ya que los escenarios en baja densidad no destinaban un área común para tal fin.

Forma de trama	Cinta E-O	Cinta N-S	"U"	"U" espejo	Peine	Peine espejo	Caja	Caso base	Temperatura del aire	
Racional	38.0°C	38.1°C	38.0°C	38.1°C	37.8°C	38.0°C	37.9°C	36.2°C	T máxima	
	25.8°C	25.6°C	25.9°C	25.8°C	25.9°C	25.8°C	25.8°C	25.7°C	T mínima	
	31.3°C	31.3°C	31.4°C	31.3°C	31.2°C	31.3°C	31.2°C	31.4°C	T promedio	
	38.2°C	38.3°C	37.9°C	38.4°C	37.7°C	38.4°C	37.8°C	-	T máxima	
	25.8°C	25.6°C	25.9°C	25.9°C	26.0°C	25.9°C	26.0°C	-	T mínima	
	31.4°C	31.3°C	31.4°C	31.5°C	31.3°C	31.5°C	31.4°C	-	T promedio	
	38.5°C	38.2°C	38.5°C	38.5°C	38.3°C	38.5°C	38.3°C	38.4°C	T máxima	
	25.8°C	25.7°C	25.9°C	25.9°C	25.9°C	25.9°C	26.0°C	25.7°C	T mínima	
	31.4°C	31.3°C	31.5°C	31.5°C	31.4°C	31.5°C	31.4°C	31.5°C	T promedio	
	39.7°C	39.3°C	39.5°C	39.3°C	39.3°C	39.2°C	39.5°C	38.6°C	T máxima	
	26.1°C	26.1°C	26.3°C	26.3°C	26.2°C	26.2°C	26.1°C	25.9°C	T mínima	
	32.3°C	32.1°C	32.3°C	32.2°C	32.2°C	32.1°C	32.2°C	31.3°C	T promedio	
Cul-de-Sac	40.0°C	39.3°C	39.1°C	39.0°C	38.9°C	38.9°C	38.9°C	-	T máxima	
	26.1°C	26.1°C	26.4°C	26.4°C	26.3°C	26.3°C	26.3°C	-	T mínima	
	32.5°C	32.1°C	32.2°C	32.2°C	32.1°C	32.1°C	32.1°C	-	T promedio	
	39.4°C	39.3°C	39.5°C	39.5°C	39.3°C	39.3°C	39.3°C	38.3°C	T máxima	
	26.2°C	26.2°C	26.3°C	26.3°C	26.3°C	26.3°C	26.2°C	25.9°C	T mínima	
	32.3°C	32.1°C	32.3°C	32.3°C	32.2°C	32.2°C	32.2°C	31.2°C	T promedio	
	Orgánica	37.9°C	38.4°C	38.2°C	38.2°C	37.9°C	38.1°C	38.0°C	38.2°C	T máxima
		25.9°C	25.7°C	25.9°C	25.9°C	25.9°C	25.8°C	25.6°C	26.7%	T mínima
		31.4°C	31.4°C	31.5°C	31.5°C	31.3°C	31.4°C	31.3°C	31.5°C	T promedio
		37.9°C	38.4°C	38.1°C	38.4°C	37.9°C	38.2°C	37.9°C	-	T máxima
		26.0°C	25.6°C	26.0°C	26.0°C	26.0°C	25.9°C	26.0°C	-	T mínima
		31.4°C	31.4°C	31.5°C	31.6°C	31.3°C	31.6°C	31.4°C	-	T promedio
37.9°C		38.2°C	38.2°C	38.2°C	38.0°C	38.0°C	38.0°C	38.8%	T máxima	
26.0°C		25.8°C	25.9°C	26.0°C	25.9°C	25.9°C	25.9°C	25.8%	T mínima	
31.4°C		31.4°C	31.5°C	31.4°C	31.4°C	31.4°C	31.4°C	31.4%	T promedio	

Figura 3: Comportamiento térmico de cada receptor, en los 21 escenarios.

Al analizar la Figura 3, se detecta que todas las combinaciones en la forma de trama cul-de-sac se mantienen más cálidas en comparación a las tramas racional y orgánica, para las tres etapas de análisis (CU, C, B). Los comportamientos térmicos más frescos se encuentran en la forma de trama racional en combinación con las formas de huella de edificios "cinta N-S" y "peine". Por otra parte, en la forma de trama cul-de-sac es necesaria la incorporación de forestación que contribuya a sombrear el espacio abierto público, que representa un 24% del total del barrio, esto también contribuiría a balancear la superficie de las áreas de patios privados

(8%) que ocupan un 4% menos que en la trama racional (12%), considerada como la más fresca.

En la etapa de análisis del cañón urbano (CU), se denota que:

- La combinación con mejor comportamiento térmico se genera entre la forma de trama racional y la huella de edificio "peine" (temperatura máxima 37.8°C, promedio 31.2°C), y con la forma de "cinta N-S" (temperatura mínima 25.6°C), siendo el escenario densificado levemente más fresco que el caso base de baja densidad (temperatura máxima 38.2°C, mínima 25.7°C, promedio 31.4°C), ver Figura 4.
- La combinación con peor comportamiento térmico se genera entre la forma de trama cul-de-sac y la huella de edificio "cinta E-O" (temperatura máxima 39.7°C y promedio 32.3°C), y con la forma de "U" y "U espejo" (temperatura mínima 26.3°C), siendo más cálida que el caso base de baja densidad (temperatura máxima 38.3°C, mínima 25.5°C, promedio 31.2°C).

En la etapa de análisis del espacio abierto público (C), se denota que:

- La combinación con mejor comportamiento térmico se genera entre la forma de trama racional y la huella de edificio "peine" (temperatura máxima 37.7°C y promedio 31.3°C), y con la forma de "cinta N-S" (temperatura mínima 25.6°C), ver Figura 4
- La combinación con peor comportamiento térmico se genera entre la forma de trama cul-de-sac y la huella de edificio "cinta E-O" (temperatura máxima 40.0°C y promedio 32.5°C), y con la forma de "U" y "U espejo" (temperatura mínima 26.4°C).

En la etapa de análisis de borde (B), se denota que:

- La combinación con mejor comportamiento térmico se genera entre la forma de trama racional y la huella de edificio "cinta N-S" (temperatura máxima 38.2°C, mínima 25.7°C, promedio 31.3°C), siendo levemente más fresca que el caso base de baja densidad (temperatura máxima 38.5°C, mínima 25.7°C, promedio 31.5°C). La Figura 4 muestra una volumetría de los escenarios más fresco.
- La combinación con peor comportamiento térmico se genera entre la forma de trama cul-de-sac y la huella de edificio "U" y "U espejo" (temperaturas máximas 39.5°C, mínimas 26.3°C y promedios 32.3°C), siendo más cálida que el caso base de baja densidad (temperatura máxima 38.3°C, mínima 25.5°C, promedio 31.2°C).

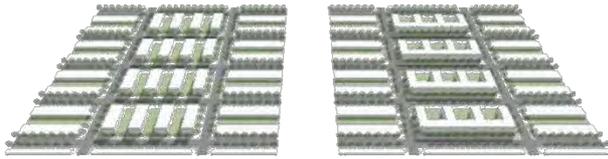


Figura 4: Escenarios más frescos.

## Conclusiones

Desde el abordaje del comportamiento térmico exterior, los hallazgos obtenidos muestran que el aumento de la densidad en áreas consolidadas muestra aspectos positivos como negativos. Un aumento en la densidad no siempre compromete el comportamiento térmico exterior del barrio, considerando que la combinación entre forma de trama-huella de edificio sea adecuada, como es el caso de la trama racional con las huellas “cinta N-S” y “peine”. Es decir que combinar y aumentar densidades dentro de un barrio ofrece oportunidades de planificación que no impactan de manera directa en el comportamiento térmico y permiten mejorar la habitabilidad -confort térmico tanto exterior como interior, para la condición de verano. Por otra parte, no se encontraron grandes diferencias en la temperatura del aire entre las huellas de los edificios analizadas. Lo que indica que mantener constante el valor de compacidad en las manzanas contribuye a disminuir el impacto térmico en un área. Siendo las formas de huella de edificios “cinta N-S” y “peine” las de mejor respuesta térmica, aunque la forma “cinta N-S” limita las posibilidades de utilizar la orientación norte para la bioclimatización de los espacios interiores de las viviendas en los edificios.

Los resultados obtenidos en esta etapa inicial de la investigación serán complementados en etapas posteriores al analizar la respuesta térmica de combinar distintas compacidades con otras variables como es la orientación de trama para el caso del AMM. El estudio busca promover el uso de la evaluación y diagnóstico microclimático mediante herramientas de simulación a escala urbana que permitan definir estrategias direccionadas a mejorar las condiciones térmicas exteriores, y que contribuyan a disminuir los efectos de la urbanización sobre el clima, la calidad de vida de las personas, el consumo de energía y los impactos sobre la salud.

## Agradecimientos

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), y por la Agencia Nacional científica y Tecnológica (ANCyT), Argetina.

## Referencias

Alchapar, N. y Correa, E. (2020). Optothermal properties of façade coatings. Effects of environmental exposure over solar reflective index. *Journal of Building Engineering* 32, 1-11.

Alchapar, N. y Correa, E. (2015). Comparison the Performance of Different Facade materials for Reducing Building Cooling needs. Eco-efficient materials for Mitigating Building Cooling Needs, Woodhead Publishing, Cambridge, 155–194.

ARUP publications (2018). Cities Alive: Rethinking Cities in Arid Environments.

Castillo, A., Correa, E., Cantón, M. (2021). Impacto del diseño de modelos urbanos públicos y privados sobre la respuesta térmica del sector de piedemonte. El caso del Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Cuaderno urbano* 30, 161-191.

Chao, X., Dagmar, H., Meirong, S., Zhifeng, Y. (2019). The impact of urban compactness on energy-related greenhouse gas emissions across EU member states: Population density vs physical compactness. *Applied Energy* 254.

Correa, E. (2006). Isla de Calor Urbana. El caso del área metropolitana de Mendoza (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Salta.

Dargahian, F., Heidarnejad, S., Razavizadeh, S. (2021). Investigating the trend of changes in the heat wave properties Related to climate change in arid regions (Case Study: Yazd City) 28, 564-577.

Fang, C., Wang, S., Li, G. (2015). Changing urban forms and carbon dioxide emissions in China: a case study of 30 provincial capital cities. *Applied Energies* 158, 519-31.

Ghobadi, A., Khosravi, M., Tavousi, T. (2018). Surveying of Heat waves Impact on the Urban Heat Islands: Case study, the Karaj City in Iran. *Urban Climate* 24, 600-615.

Haddad, S., Ulpiani, G., Paolini, R., Synnefa, A., Santamouris, M. (2019). Experimental and Theoretical analysis of the urban overheating and its mitigation potential in a hot arid city – Alice Springs. *Architectural Science Review* 63, 425-440.

Harmay, N., Choi, M. (2022). Effects of heat waves on urban warming across different urban morphologies and climate zones. *Building and Environment* 209.

Higueras, E. (2006). Urbanismo bioclimático. Barcelona: Gustavo Gili.

Informe mundial de las ciudades (2020). United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat).

IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis.

Lemoine Rodríguez, R. (2021). Urban form, urban warming and time. From global regularities to local heterogeneities. Tesis doctoral.

Liu, X., Sweeney, J. (2012). Modelling the impact of urban form on household energy demand and related CO2 emissions in the Greater Dublin Region. *Energy Policy* 46, 359-69.

- Ma, J., Liu, Z., Chai, Y.(2015). The impact of urban form on CO2 emission from work and nonwork trips: the case of Beijing, China. *Habitat International* 47, 1-10.
- Ruiz, M., Sosa, M., Correa, E., Cantón, M. (2017). Design tool to improve daytime thermal comfort and nighttime cooling of urban canyons. *Landscape and urban planning*, 167, 249-256.
- Sosa, M. B. (2018a). Estrategias de mitigación de la isla de calor sustentabilidad ambiental y eficiencia energética de perfiles urbanos de baja densidad en zonas áridas. Tesis doctoral, Universidad Nacional de Salta - Argentina.
- Sosa, M., Correa, E., Cantón, M. (2018b). Neighborhood designs for low-density social housing energy efficiency: Case study of an arid city in Argentina. *Energy and buildings* 168, 137-146.
- Sosa, M., Correa, E., Cantón, M. (2020). Eficacia de estrategias de disminución del calentamiento urbano. Estudio para una ciudad de clima árido. *Informes de la Construcción* 72, 559.
- Sosa, M., Correa, E., Cantón, M. (2021). Enfoque de planificación urbana basada en el desempeño térmico-energético para barrios de climas áridos. *AUS Arquitectura/Urbanismo/Sustentabilidad* 30, 44-51.
- Stocco, S., Cantón, M., Correa, E. (2021). Evaluation of design schemes for urban squares in arid climate cities, Mendoza, Argentina. *Building Simulation* 14, 763-777.