

## Determinación de variables edilicias presentes en morfologías del Área Metropolitana de Mendoza para la eficiencia energética

### Mariela Edith Arboit

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1929-5382>

Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INCIHUSA- CONICET). Correo electrónico: marboit@mendoza-conicet.gob.ar

### Dora Silvia Maglione

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4708-7089>

Universidad Nacional de la Patagonia Austral (UNPA). Correo: dmaglione@uarg.unpa.edu.ar

#### Resumen

La morfología urbano-edilicia es una determinante en el consumo de energía y es relevante en regiones áridas templadas con generoso recurso solar. Las ciudades insertas en zonas áridas afrontan una serie de riesgos que amenazan su sostenibilidad, impactadas por los efectos del cambio climático y la urbanización, con consecuencias sobre la inequidad de consumos. El objetivo del trabajo es evaluar en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) las características de las variables: altura edilicia, separación edilicia, relación altura/separación edilicia y densidad edilicia. Se trabajó con sistemas de información geográfica (SIG) y se realizó el análisis estadístico de los resultados, a fin de implementar a futuro un modelo para determinar estrategias dirigidas a maximizar la eficiencia y generación energética del sector edilicio urbano con un aprovechamiento máximo de los recursos disponibles.

Las manzanas analizadas poseen valores medios-bajos de separación edilicia y valores bajos de: altura edilicia, relación altura/separación edilicia y densidad edilicia. El 49,10 % de

## Determination of building variables present in morphologies of the Metropolitan Area of Mendoza for energy efficiency

### Dana Otero

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5876-6365>

Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (INCIHUSA- CONICET). Correo: dotero@mendoza-conicet.gob.ar

#### Financiamiento:

1. PUE CONICET 22920170100036 “Patrimonio cultural de Mendoza. Registro, análisis y prospectiva de bienes cultural-ambientales como recurso de desarrollo local e innovación sociocultural” 2017-2022.
2. Proyecto DIUM 2020-2023 “Interrelación entre planificación urbana y movilidad. El caso del Área Metropolitana Mendoza”.

#### Abstract

Urban building morphology affects energy consumption and is relevant in arid temperate regions with very high solar resources. The cities in dry areas face several risks that threaten their sustainability, affected by the effects of climate change and urbanization, which lead to some consequences over consumption inequality. The objective of the work is to evaluate, in the Metropolitan Area of Mendoza (MMA), the characteristics of building variables, including height, building separation, the relationship of height/building separation, and building density. The basis of this study is the Geographic Information System (GIS) and the statistical analysis of the results, aimed at implementing a future model to determine strategies to maximize the efficiency and energy generation of the urban building area with maximum use of available resources.

The blocks analyzed have medium-low values of building separation and low values of building height, height/building separation ratio, and building density. The 49.10 %

#### HISTORIAL DEL ARTÍCULO

##### Recibido:

10 de diciembre de 2021

##### Aceptado:

5 de julio de 2022

#### CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Arboit, M. E., Maglione, D. S. y Otero, D. C. (2022). Determinación de variables edilicias presentes en morfologías del Área Metropolitana de Mendoza para la eficiencia energética. *Revista de Urbanismo*, (47), 136-160. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2022.65608>

manzanas posee una separación edilicia media de 16,61 m, el 73,90 % tiene una altura media <3,5 m, el 90,52 % cuenta con valores medios <0,30 de variable relación altura/separación edilicia de manzanas urbanas y el 80,85 % presenta valores medios de densidad edilicia <2m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Con base en los resultados obtenidos, se concluye que el AMM posee un modelo de ciudad difusa adaptado al clima semidesértico. Se cree factible revalorizar, preservar y regenerar el modelo actual de "ciudad oasis" en zonas ya consolidadas y plantear un nuevo modelo urbano a futuro que considere los diferentes contextos culturales, el patrimonio urbano-edilicio y paisajístico, las diferentes oportunidades y las limitaciones para el progreso hacia la sostenibilidad energético-ambiental.

#### Palabras clave

altura edilicia, densidad edilicia, morfología urbana, separación edilicia, sostenibilidad

of blocks have an average building separation of 16.61 m; the 73.90 % of blocks have an average height of <3.5 m; the 90.52 % of the blocks have mean values <0.30 of the variable height/building separation ratio of urban blocks and 80.85% of blocks have mean values of building density of <2 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>.

Based on the results obtained, it is concluded that the MMA has a diffuse city model adapted to the semi-desert climate. It is believed feasible to revalue, preserve and regenerate the current model of "oasis city" in already consolidated areas and propose a new urban model for the future that considers the different cultural contexts, the urban-building and landscape heritage, the other opportunities, and limitations for progress towards energy-environmental sustainability.

#### Keywords

building density, building height, building separation, sustainability, urban morphology

#### HISTORIAL DEL ARTÍCULO

##### Recibido:

10 de diciembre de 2021

##### Aceptado:

5 de julio de 2022

#### CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Arboit, M. E., Maglione, D. S. y Otero, D. C. (2022). Determinación de variables edilicias presentes en morfologías del Área Metropolitana de Mendoza para la eficiencia energética. *Revista de Urbanismo*, (47), 136-160. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2022.65608>

## Introducción

El cambio climático continuo y la expansión acelerada de las áreas urbanas podrían acentuarse en la etapa posterior al COVID-19, principalmente en países menos desarrollados, donde el consumo de tierra y poblacional continúa en aumento (Ángel et al., 2016). Actualmente el 56,15 % de la población mundial reside en centros urbanos (Banco Mundial, 2021). Las ciudades son responsables de dos tercios del consumo de energía mundial y de más del 70 % de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs), con una consecuente pérdida y degradación del hábitat (Margulis, 2017). Esta tendencia de crecimiento acentúa las inequidades con repercusiones sobre los ecosistemas y un mayor consumo de recursos, entre otros, el energético. Se ha demostrado que la morfología urbano-edilicia es determinante del consumo energético en dos sectores principales: movilidad y edificación. El uso de la energía en el ambiente construido es principalmente dependiente de las condiciones de la morfología urbano-edilicia y de la tecnología de los edificios.

Los estudios sobre consumos energéticos han ido cambiado su enfoque de una escala de análisis edilicio, a soluciones a escala urbana, e incorporan modelos energéticos top-down (descendente) y bottom-up (ascendente), dependiendo de la información de datos disponibles y las estrategias de simulación (Ali et al., 2021; Filogamo et al., 2014; Fracastoro, & Serraino, 2011; Johari et al., 2020). Los modelos top-down que se basan principalmente en relaciones estadísticas, consideran el consumo de energía a escala espacial (nacional, provincial o municipal), temporal (anual, semestral) y el uso final (comercial, habitacional, otros), son dependientes de indicadores macroeconómicos y datos históricos e independientes de descripciones tecnológicas detalladas (Lim, & Zhai, 2017). Los modelos bottom-up requieren de una extensa cantidad de datos para la estimación del consumo energético en edificios individuales o en grupos de edificios y también para la extrapolación a diversas escalas espaciales de la demanda energética; por su parte pueden dividirse en modelos estadísticos, físicos e híbridos. Los modelos

estadísticos bottom-up utilizan datos de facturación de energía, información disponible de las construcciones y son capaces de considerar la demografía incluyendo, en algunos casos, el comportamiento de los ocupantes (encuestas) (Cerezo Davila et al., 2016; Li et al., 2017; Nouvel et al. 2015). Los modelos físicos se basan en simulaciones termoenergéticas y necesitan de una importante cantidad de datos de entrada y recursos computacionales. Dichos modelos generalmente no contemplan condicionantes económicas, comportamiento de ocupantes e incertidumbres (Li et al., 2020a). El uso de modelos híbridos logra un modelo más sofisticado para la estimación del consumo a escala urbana al combinar modelos estadísticos y físicos (Ferrari et al., 2019a; Ferrari et al., 2019b; Frayssinet et al., 2018; Mauree et al., 2019).

La necesidad de cartografía e información es clara al momento de implementar modelos top-down y bottom-up. En comparación con la escala edilicia, el estudio a escala urbana es más complejo y exigente en términos de tiempo y recursos (Chatzipoulka et al., 2016), principalmente en ciudades altamente forestadas. Los desafíos locales incluyen la falta de datos geométricos urbano-edilicios y métodos computacionales para cuantificar alguna de las variables.

El objetivo del trabajo es evaluar algunas características morfológicas típicas del Área Metropolitana de Mendoza (AMM), a partir de cuantificar y cartografiar las variables: altura edilicia, separación edilicia, relación altura/separación edilicia y densidad edilicia presentes en el AMM. La finalidad del trabajo es completar los resultados de investigación y extraer conclusiones que permitan a futuro generar propuestas normativas transferibles, dirigidas a maximizar la eficiencia y generación energética del sector edilicio urbano. El artículo propone la determinación de variables en un sistema de información geográfica (SIG), la categorización de las manzanas urbanas en función de dichas variables para el AMM y un análisis estadístico de los resultados, aplicado a la escala urbana y departamental.

La investigación a escala urbana se basa en la disponibilidad de información sobre la geometría urbano-edilicia (Bonczak, & Kontokosta, 2019; Mutani, & Todeschi, 2017; Torabi et al., 2018). Se espera que los resultados de esta investigación se conviertan en parte de una herramienta de apoyo potencial para futuras decisiones energético-ambientales.

El manuscrito inicia con la descripción de las principales problemáticas energético-ambientales, se introducen estudios y modelos metodológicos que relacionan la morfología urbano-edilicia y el consumo energético con enfoques a escala urbana, y se expone el objetivo de la investigación. Posteriormente, se presenta el marco en el que se funda la evaluación dentro del paradigma de sostenibilidad regenerativa alrededor de los conceptos de ciudad compacta y de ciudad difusa, y se hace una recopilación de antecedentes e investigaciones, a fin de contemplar las consideraciones teóricas en las que se sustenta el trabajo. A continuación, se introduce el Área Metropolitana de Mendoza (AMM) como caso de estudio, la descripción de las variables seleccionadas y un breve detalle de la metodología para el análisis estadístico. Luego, se presentan los resultados alcanzados, se aporta cartografía, tablas y gráficos. La sección discusión brinda un análisis de los resultados obtenidos en la investigación, donde se destacan valores medios-bajos de separación edilicia y bajos de altura edilicia, relación altura/separación edilicia y densidad edilicia, contrastando dichos hallazgos con los enfoques y los conceptos abordados, y con los resultados previos. Finalmente, se ofrece una visión de los desafíos futuros, una evaluación del cumplimiento de metas de investigación, se presenta el alcance del análisis general en las conclusiones del estudio teniendo en cuenta el grado de aporte respecto del conocimiento y se explora la relevancia del trabajo para futuras investigaciones.

## Marco teórico

El concepto de sostenibilidad se vincula con: equidad social, eficiencia económica y preservación ambiental. Sin embargo, a más de 30 años de la publicación del Informe Brundtland y la divulgación de su paradigma,

surgen inquietudes respecto de los resultados obtenidos (González-Márquez, & Toledo, 2020). Como consecuencia, el concepto de sostenibilidad está evolucionando hacia una visión de sostenibilidad regenerativa. Este nuevo paradigma toma como base para el diseño el funcionamiento de sistemas ecológicos integrados, acompañado de un monitoreo que permite un proceso de retroalimentación para su evolución (Reed, 2007) con miras a un futuro próspero desde la escala individual hasta la global (cosmovisión ecológica), y con la capacidad para manejar la incertidumbre y evolucionar abordando la dimensión externa (tangible) e interna (intangibile) de la sostenibilidad, siendo esta última la que puede motivar la voluntad y la acción necesarias para un cambio transformacional positivo y duradero (Gibbons, 2020). El cambio hacia este paradigma supone redefinir los instrumentos de planificación actuales, por lo que para abordar los nuevos retos resulta imprescindible reformular los principios urbanísticos alineados con los criterios de sostenibilidad regenerativa.

Dentro del paradigma sostenible, el modelo de ciudad compacta es el que mayor aceptación tiene con numerosas documentaciones (Jabareen, 2006; Jenks, & Burgess, 2000; Jenks et al., 1996; Rueda, 1997). Si bien, las estrategias de diseño más comunes relacionadas con la ciudad compacta son: compacidad, densidad, mixtura de usos del suelo, heterogeneidad social, movilidad sostenible y espacios vegetados; no existe un consenso exacto de cómo se debe planificar y desarrollar a futuro (Bibri, 2020a). Sin embargo, coexisten muchos supuestos alrededor de la compacidad y de la dispersión urbana que deben ser afrontados (Rueda, 2019). Desde esta perspectiva, resulta significativo determinar cómo se debe concebir la compacidad o dispersión (Mueller et al., 2020), ya que la ciudad difusa no se desarrolla imperiosamente por falta de normativas urbano-edilicias que regulan el crecimiento ni tampoco una ciudad compacta es análoga a ordenanzas y planificación (Sanabria Artunduaga y Ramírez Ríos, 2017).

La morfología urbano-edilicia ha sido ampliamente analizada por sus efectos sobre el comportamiento energético edilicio, disponibilidad solar en fachadas norte y techos, ganancias solares, microclima urbano,

confort térmico exterior, dirección y velocidad del viento, contaminantes y calidad del aire (Aboelata, 2020; Bakarman, & Chang, 2015; Bourbia, & Awbi, 2004; Chen, et al. 2020; Huang et al., 2021; Martinelli, & Matzarakis, 2017; Mesa et al., 2011; Ruggeri et al., 2020; Schulte et al., 2015; Shareef, & Abu-Hijleh, 2020; Vartholomaios, 2017). La temática es de impacto para planificadores y diseñadores preocupados no solo por la calefacción de espacios activa y pasiva, calentamiento de agua para uso doméstico y generación fotovoltaica, sino también por la rehabilitación profunda del parque edilicio (Chen et al., 2020; Colucci et al., 2017; Huang, & Li, 2017; Li et al. 2020b; Savvides, & Vassiliades, 2017; Sharifi, 2019; Shi et al., 2021; Wolff, 2014; Zhang et al. 2019).

En línea con el paradigma de la sostenibilidad regenerativa, resulta preciso que el entorno construido sea protagonista activo de una transición energética efectiva hacia las fuentes renovables. Esto implica que los edificios serán productores dentro de un nuevo modelo energético, siendo necesario impulsar la flexibilidad energética desde la planificación y la gobernanza local; lo que, además de generar un aumento de la energía eléctrica por su flexibilidad para la generación in situ, requerirá una mayor eficiencia energética en las construcciones. En este sentido, un edificio resulta pequeño para participar en un mercado de flexibilidad energética en el entorno construido, siendo necesaria la agrupación de varios edificios (Jensen et al., 2017). Debido a las problemáticas energéticas generadas en los centros urbanos, se busca disminuir la demanda de energía residencial impulsando medidas dirigidas a mejorar la eficiencia energética edilicia (Belussi et al., 2019; Cárdenas-Jirón y Chang Lou, 2019; D'Amanzo et al., 2020), por medio de estrategias tales como: conservación energética a través del aislamiento de la envolvente, ganancia solar directa, producción de energía in situ por la incorporación de sistemas fotovoltaicos, calentamiento de agua por medio de colectores solares y otras.

Considerando el dinamismo que presentan las ciudades, por su rápido crecimiento y desarrollo, estas metodologías, que pueden emplearse en forma combinada, resultan de gran ayuda para los planificadores urbanos. Los

principales antecedentes en los que se asienta la investigación incluyen trabajos que presentan modelos de energía a escala urbana que relacionan la morfología urbano-edilicia y el comportamiento energético para identificar la forma óptima edilicia con bajo consumo de energía y alta productividad de energía solar.

A escala local, para el AMM se han realizado estudios sobre las variables urbano-edilicias relacionadas con el comportamiento energético, basados en conjuntos reales representativos (Arboit et al., 2008; Arboit et al., 2010) y se ha avanzado desde años recientes en modelos a escala urbana (Mutani et al., 2018). Se cuenta con resultados de las variables urbanas: forma de las manzanas urbanas, orientación de las manzanas, índices de vegetación de las manzanas urbanas y de las variables edilicias: huella edilicia y factor edilicio total.

Diversos trabajos han demostrado que la altura edilicia posee un impacto en la demanda energética (Ahn, & Sohn, 2019; Allen-dumas et al., 2020; De Lemos Martins et al., 2019; Song et al., 2020). Localmente, en el contexto del AMM como ciudad oasis, autores han realizado estudios específicos relacionados con edificios en altura arribando a la conclusión de la relevancia de las tecnologías, tratamientos específicos de envolventes y estrategias diferenciadas según alturas (Balter et al., 2016); además, se ha demostrado que en edificios en altura se podrían implementar estrategias combinadas de ganancia solar directa, ventilación e iluminación natural (Arboit et al., 2020). Otros trabajos han señalado que en entornos urbanos forestados se generan condiciones diversas de acceso a la radiación solar dependiente de la influencia del arbolado y de las alturas de edificación.

La variable separación edilicia afecta significativamente la ventilación natural edilicia de la manzana y las sombras entre los edificios, condicionando el asoleamiento y los flujos de aire (Oke, 1988a), lo cual resulta de interés por la posibilidad de acceso abundante al recurso solar en la región de estudio (4,58 kWh/m<sup>2</sup>/día a 5,55 kWh/m<sup>2</sup>/día). Además, esta variable es importante para conocer el potencial real mínimo de captación solar directa en los espacios construidos, en lo referente al acceso al recurso

energético, permitiendo determinar relaciones entre las áreas potencialmente colectoras en la zona de estudio. Para el AMM se ha demostrado que los sistemas de calefacción solar pasiva están limitados por la separación edilicia y la altura (Arboit y Betman, 2014).

La relación altura/separación edilicia presenta varios antecedentes de estudios internacionales entre los que se podrían citar trabajos que incorporan la relación altura del edificio y la distancia entre estos y los que analizan la geometría a nivel de la calle (Gago et al., 2013; Inzulza Contardo et al., 2017; Oke, 1988b; Valdés Alé, 2021). Existe una investigación que propone relacionar simulaciones energéticas a escala urbana con diferentes variables edilicias y urbanas que ha identificado cuatro variables edilicias y seis variables urbanas (Mutani et al., 2020), y otra que mediante análisis estadístico y simulación energética determina la influencia de la morfología urbana sobre el consumo energético para calefacción de edificios, considerando siete variables urbano-edilicias (Leng et al., 2020). En ambos estudios la relación altura y la distancia entre los edificios se encuentra presente.

La variable densidad edilicia puede ser relacionada con las variables huella edilicia y el factor edificio total (Arboit y Maglione, 2019) para entender el grado de compacidad del área urbana, ya que considera el volumen edificado sobre la manzana. Existen antecedentes que corroboran que la respuesta energética más eficiente corresponde a altas densidades edilicias y tipologías de unidades urbanas (manzanas) compactas, por sobre de bajas densidades y tipologías abiertas (Mesa y de Rosa, 2001), lo cual se ha comprobado para distintas densidades edilicias en el AMM (Mutani et al., 2018). Estudios internacionales recientes más amplios han considerado la frecuencia de eventos climáticos extremos para analizar el rendimiento energético en diversos períodos temporales con diferentes morfologías urbano-edilicias revelando que: la forma edilicia y la densidad urbana actuales aumentarán la demanda de energía, la cual puede incrementarse en condiciones climáticas extremas, lo que llevará a un aumento en las inversiones de infraestructura energética. Sin embargo, se afirma que de optimizar la morfología urbana se reduciría dicha demanda (Perera et al., 2021).

En función de los antecedentes mencionados en los párrafos anteriores y para seguir profundizando en el estudio de variables urbano-edilicias es que en el presente trabajo se consideran las variables: altura edilicia; separación edilicia; relación altura/separación edilicia y densidad edilicia.

Metodológicamente, se trabajó con en sistemas de información geográfica (SIG) y los resultados fueron analizados estadísticamente; esto permitió considerar las variables edilicias reales de toda la ciudad y permitió obtener cuantificaciones y relaciones para la totalidad del área en estudio.

### *Estudio de caso*

El Área Metropolitana de Mendoza (AMM) ubicada a 32°88' latitud sur, 68°85' longitud oeste y 827 m.s.n.m. de altitud es el conglomerado urbano más importante de la región. Está conformada por seis departamentos administrativos: Capital, Godoy Cruz, Guaymallén, Las Heras, Luján de Cuyo y Maipú, dentro del denominado Oasis Norte. Presenta inviernos templado-fríos, con valores de 1.384 °C día anuales de calefacción (B°18) y 163 °C día anuales de enfriamiento (B°23), contando con un generoso recurso solar y con predominio de cielos claros (Servicio Meteorológico Nacional y Red Solarimétrica de la República Argentina, 2021).

El AMM en su perspectiva histórica patrimonial ha sido estudiada (Guaycochea, 1978; Ponte, 2008; Prieto et al. 2012) con interesantes aportes ligados al tema patrimonio cultural de oasis (Furlani de Civit, 1994; Manzini Marchesi, 2018), y se han determinado diversos procesos espaciales (Bórmida y Dabul, 2014, Bórmida y Moretti, 2005), entre los que se destaca el de Mendoza como ciudad oasis (Bórmida, 2014) que plantea el logro del acondicionamiento ambiental de un sector de desierto mediante una macroestructura espacial: "la ciudad oasis como una estructura arquitectónica vegetal" (Bórmida, 2014, p. 136).

Hoy, el AMM con más de un millón de habitantes y baja densidad poblacional media (4.310 hab./km<sup>2</sup>)

experimenta la tendencia dominante de ocupación de los terrenos periféricos para nuevos loteos y asentamientos habitacionales, invadiendo para ello tierras suburbanas productivas y pedemontanas. La superficie urbanizada ha crecido a un ritmo mayor que la población urbana, existiendo un aumento de consumos energéticos residenciales y una disminución en los índices de vegetación, con desigualdades en los distintos departamentos del AMM. De continuar esta tendencia, identificada en las últimas décadas, se hace previsible un deterioro energético-ambiental aún mayor del hábitat (Molina et al., 2020).

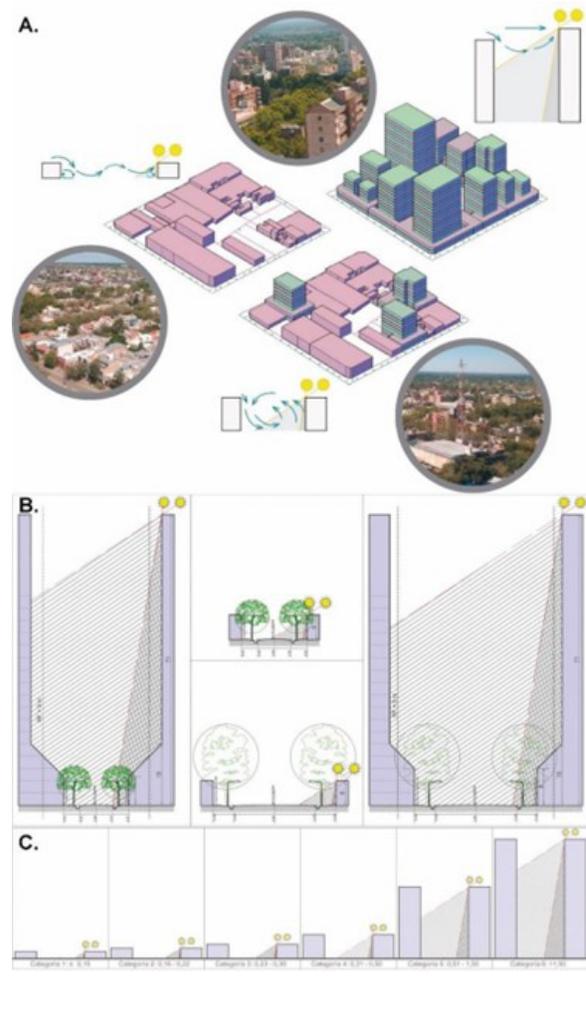
### Metodología

El trabajo se ha enfocado sobre las componentes edilicias que caracterizan el tejido de la ciudad en lo morfológico, en virtud del diagnóstico de las manzanas urbanas, establecidas como unidades de análisis. Se estudia la distribución espacial de las mismas, mediante soporte SIG y análisis estadístico. La investigación se desarrolló con base en la recopilación de la información cartográfica y el análisis de datos catastrales urbano-edilicios (Dirección General de Catastro, s. f; Gobierno de Mendoza, s. f., 2021; Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina [IGM], s. f.). Los datos se refieren tanto a unidades edilicias, como a lotes catastrales. En estas es posible identificar número de pisos, superficie construida y es factible calcular la altura (suponiendo una altura promedio por piso) por cada lote, integrando posteriormente los resultados para cada manzana urbana como unidad de análisis.

Se han reconstruido previamente conjuntos representativos de la morfología urbano-edilicia de baja, media y alta densidad (72 manzanas), a partir de relevamiento in situ. Y se cuenta con datos preliminares de otras 36 manzanas (Figura 1. A).

En relación con la selección de variables, esta se justifica por la factibilidad de incorporar mejoras a partir de los marcos normativos regulatorios vigentes en los distintos municipios que conforman el AMM (Otero et al., 2019) (Figura 1.B).

**Figura 1**  
Esquemas ilustrativos, fotografías y cortes representativos de la morfología urbano-edilicia



*Nota.* A. Esquemas, axonometrías y fotografías de conjuntos típicos de la morfología urbano-edilicia. B. Cortes representativos considerando los marcos regulatorios vigentes en el AMM de perfiles viales de 16 m y 30 m, para dos densidades edilicias extremas (baja y alta densidad) incluyendo su relación con el acceso al sol. C. Esquema descriptivo por categoría para la variable relación altura/separación edilicia (AE/SE) con acceso al sol para la estación de verano e invierno. Colaboración gráfica de Cecilia Camino.

Metodológicamente se seleccionaron para el estudio cuatro variables edilicias:

**Altura edilicia.** Es la altura promedio de los edificios calculada como el número de pisos por la altura promedio de los pisos (3 m).

Para determinar el valor medio de la manzana se calculó la altura de cada edificio multiplicada por el volumen del edificio, posteriormente, para cada manzana se calculó la suma de cada uno de los edificios y se dividió por el volumen total de la manzana.

A partir de los resultados se determinó la siguiente categoría de análisis para altura edilicia en metros (m). Categoría 1: <3,5; Categoría 2: 3,5 a 9,4; Categoría 3: 9,5 a 18,4; Categoría 4: 18,5 a 24,4; Categoría 5:  $\geq 24,5$ .

**Separación edilicia.** Es representativa de la distancia entre edificios calculada como la distancia media de un edificio en un radio de 100 m en relación con los 30 edificios más cercanos. Se corrigieron, además, los datos nulos, asignando un valor de 100 m, esto significa que en un entorno de 100 m o más no hay otros edificios, es decir, dichos edificios están aislados por un radio superior a 100 m. Aquellos compuestos por varios volúmenes, pero aislados de otros han sido unidos (fusionados). El valor medio de cada manzana se calculó como la suma de cada uno de los edificios de la manzana y se dividió por el total de construcciones existentes en esta.

Tras la obtención de los resultados se determinó la siguiente categoría de análisis para separación edilicia, en metros (m). Categoría 1:  $\leq 14,00$ ; Categoría 2: 14,01-20,00; Categoría 3: 20,01-25,00; Categoría 4: 25,01-35,00; Categoría 5:  $>35,00$ .

**Relación altura/separación edilicia.** Calculada como el cociente entre la altura del edificio y la separación media de los edificios del entorno. Una vez realizado el cálculo, a aquellos que poseen una relación altura/separación edilicia  $>2$  y con menos de 5 edificios en su entorno (aislados) se les modificó la distancia media, asignando un valor de 100 m. Para determinar el valor medio de la

manzana se multiplicó el cociente entre la altura edilicia y la separación media de los edificios multiplicada por el volumen del edificio, se realizó la sumatoria de cada uno de ellos y, finalmente, se dividió por el volumen total de la manzana.

Sobre la base de los resultados se determinó la siguiente categoría de análisis para relación altura/separación edilicia de la manzana. Categoría 1:  $\leq 0,15$ ; Categoría 2: 0,16-0,22; Categoría 3: 0,23-0,30; Categoría 4: 0,31-0,50; Categoría 5: 0,51-1,50; Categoría 6:  $>1,50$  (Figura 1. C).

**Densidad edilicia.** Es la relación entre el volumen edificado sobre la manzana y el área de la manzana ( $m^3/m^2$ ) y expresa la densidad edilicia urbana. Altos valores de la variable indican una situación de alta densidad edilicia de la manzana urbana y viceversa bajos valores indica una situación de baja densidad.

Una vez obtenidos los resultados se determinó la siguiente categoría de análisis para densidad edilicia. Categoría 1:  $\leq 1$ ; Categoría 2: 1,01-1,40; Categoría 3: 1,41-2,00; Categoría 4: 2,01-2,20; Categoría 5: 2,21-2,80; Categoría 6: 2,81-5,50; Categoría 7:  $>5,50$ .

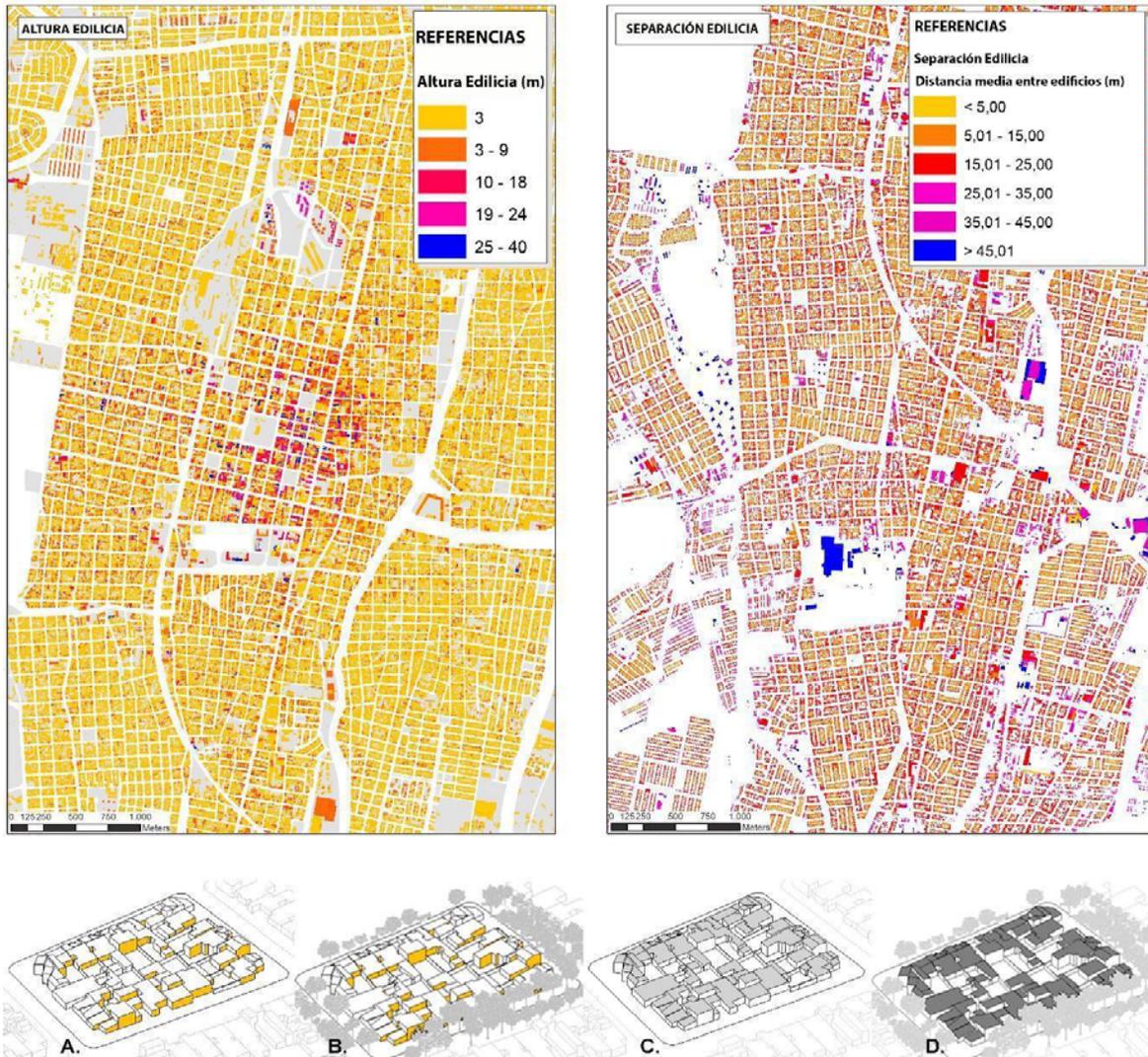
En la Figura 2 se muestran las cartografías de altura edilicia y separación edilicia para los edificios presentes en un sector del AMM.

### *Análisis estadístico*

En función de los resultados y para las categorías definidas se calcularon distintas medidas resúmenes (de posición y dispersión, entre otras), se compararon los valores medios de cada departamento mediante el test de mínima diferencia significativa de Fisher, usando análisis de varianza no paramétrico. Se construyeron gráficos de densidades sobre la base de las categorías definidas para cada una de las variables edilicias propuestas. Se corrieron test de asociación entre variables categóricas y de correlación entre variables numéricas. El análisis se realizó usando los softwares estadísticos InfoStat (Di Rienzo et al., 2020) y RStudio (R Core Team, 2021).

**Figura 2**

Cartografía de altura edilicia y separación edilicia en unidades edilicias presentes en el AMM y axonometrías señalando áreas potencialmente asoleadas en fachadas al norte y techos



Nota. Axonometrías de morfologías urbano-edilicias con base en la información disponible y relevamiento in situ previo: A. Área asoleada en fachadas norte con enmascaramiento sólido. B. Área asoleada en fachadas norte con enmascaramiento de sólidos y árboles. C. Área asoleada en techos con enmascaramiento sólido. D. Área asoleada en techos con enmascaramiento de sólidos y árboles. Elaboración cartográfica de Manuela Fontanive.

## Resultados

Se analizaron aproximadamente 528.400 unidades construidas. En la Tabla 1 se muestran distintas medidas

resúmenes de las variables edilicias para las 9.360 manzanas urbanas analizadas, se ofrecen las medidas descriptivas para los datos generales y por categoría y las correlaciones de Pearson para los primeros.

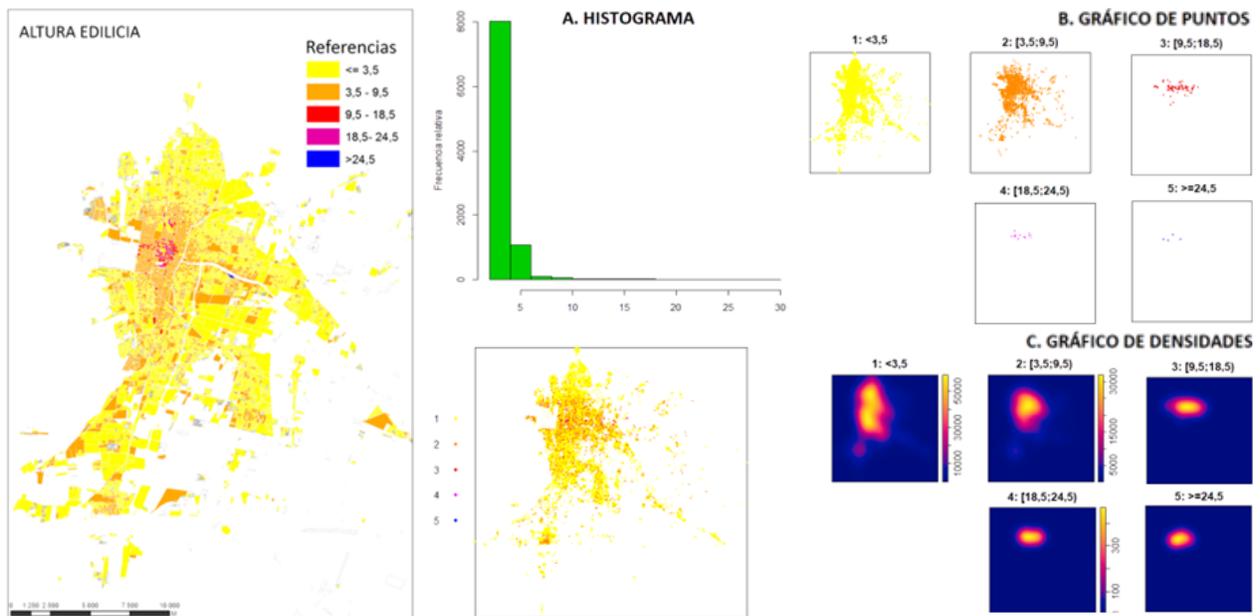
**Tabla 1**

Medidas descriptivas, medidas resúmenes y correlación de Pearson para las variables: altura edilicia (AE), separación edilicia (SE); relación altura/separación edilicia (AE/SE) y densidad edilicia (DE)

| Variable | Por Categoría/General | N°   | Media | D.E.  | Mínimo | Máximo | Mediana | Q1    | Q3    | AE    | SE    | AE/SE | DE    |
|----------|-----------------------|------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| AE       | Por Categ.            | 1    | 6917  | 3,10  | 0,14   | 3,00   | 3,49    | 3,03  | 3,00  | 3,18  |       |       |       |
|          |                       | 2    | 2333  | 4,43  | 1,07   | 3,50   | 9,33    | 4,06  | 3,71  | 4,77  |       |       |       |
|          |                       | 3    | 93    | 13,12 | 2,52   | 9,54   | 18,05   | 12,71 | 10,88 | 15,23 |       |       |       |
|          |                       | 4    | 13    | 20,20 | 1,09   | 18,85  | 22,86   | 20,06 | 19,52 | 20,87 |       |       |       |
|          |                       | 5    | 4     | 28,38 | 1,19   | 26,66  | 29,25   | 28,80 | 26,66 | 29,11 |       |       |       |
|          | General               | 9360 | 3,57  | 1,50  | 3,00   | 29,25  | 3,13    | 3,00  | 3,52  | 1     | -0,05 | 0,71  | 0,54  |
| SE       | Por Categ.            | 1    | 1066  | 12,65 | 1,42   | 1,00   | 14,00   | 13,04 | 12,17 | 13,57 |       |       |       |
|          |                       | 2    | 4596  | 16,61 | 1,59   | 14,00  | 19,99   | 16,43 | 15,29 | 17,82 |       |       |       |
|          |                       | 3    | 1073  | 22,10 | 1,41   | 20,00  | 24,99   | 21,91 | 20,87 | 23,23 |       |       |       |
|          |                       | 4    | 1073  | 29,51 | 2,90   | 25,00  | 34,94   | 29,29 | 26,88 | 31,89 |       |       |       |
|          |                       | 5    | 1552  | 50,23 | 13,05  | 35,00  | 100,00  | 47,44 | 40,65 | 56,33 |       |       |       |
|          | General               | 9360 | 23,84 | 13,80 | 1,00   | 100,00 | 18,07   | 15,41 | 27,08 | -0,05 | 1     | -0,46 | -0,63 |
| AE/SE    | Por Categ.            | 1    | 2890  | 0,10  | 0,03   | 0,03   | 0,15    | 0,10  | 0,07  | 0,13  |       |       |       |
|          |                       | 2    | 3257  | 0,19  | 0,02   | 0,16   | 0,22    | 0,20  | 0,18  | 0,21  |       |       |       |
|          |                       | 3    | 2326  | 0,25  | 0,02   | 0,23   | 0,30    | 0,25  | 0,24  | 0,27  |       |       |       |
|          |                       | 4    | 652   | 0,37  | 0,05   | 0,31   | 0,50    | 0,36  | 0,32  | 0,40  |       |       |       |
|          |                       | 5    | 213   | 0,79  | 0,26   | 0,51   | 1,48    | 0,68  | 0,56  | 0,95  |       |       |       |
|          |                       | 6    | 22    | 1,98  | 0,52   | 1,54   | 3,37    | 1,77  | 1,65  | 2,08  |       |       |       |
|          | General               | 9360 | 0,21  | 0,16  | 0,03   | 3,37   | 0,20    | 0,13  | 0,24  | 0,71  | -0,46 | 1     | 0,73  |
| AE/SE    | Por Categ.            | 1    | 2545  | 0,46  | 0,31   | 0,00   | 1,00    | 0,45  | 0,18  | 0,73  |       |       |       |
|          |                       | 2    | 1376  | 1,22  | 0,11   | 1,01   | 1,40    | 1,24  | 1,13  | 1,32  |       |       |       |
|          |                       | 3    | 3647  | 1,71  | 0,16   | 1,41   | 2,00    | 1,72  | 1,58  | 1,85  |       |       |       |
|          |                       | 4    | 706   | 2,09  | 0,06   | 2,01   | 2,20    | 2,09  | 2,04  | 2,14  |       |       |       |
|          |                       | 5    | 742   | 2,42  | 0,16   | 2,21   | 2,80    | 2,39  | 2,29  | 2,54  |       |       |       |
|          |                       | 6    | 309   | 3,40  | 0,59   | 2,81   | 5,41    | 3,20  | 2,97  | 3,62  |       |       |       |
|          |                       | 7    | 35    | 7,69  | 1,78   | 5,66   | 13,96   | 7,33  | 6,36  | 8,32  |       |       |       |
| General  | 9360                  | 1,46 | 0,86  | 0,00  | 13,96  | 1,55   | 0,92    | 1,90  | 0,54  | -0,63 | 0,73  | 1     |       |

**Figura 3**

Cartografía de valores categorizados de altura edilicia (AE), histograma de resultados, gráfico de puntos y de densidades



Nota. A. Histograma de resultados. B. Gráfico de puntos de valores categorizados de altura edilicia de las manzanas urbanas del AMM (Categoría 1: <3,5; Categoría 2: 3,5 a 9,4; Categoría 3: 9,5 a 18,4; Categoría 4: 18,5 a 24,4; Categoría 5:  $\geq$ 24,5). C. Gráfico de densidades. Elaboración cartográfica de Manuela Fontanive.

De los datos generales, se observa que la distribución de altura edilicia de las manzanas urbanas está concentrada alrededor de los 3,0 m siendo la mediana muy próxima al valor mínimo, y solo el 25 % de las manzanas urbanas supera los 3,52 m.

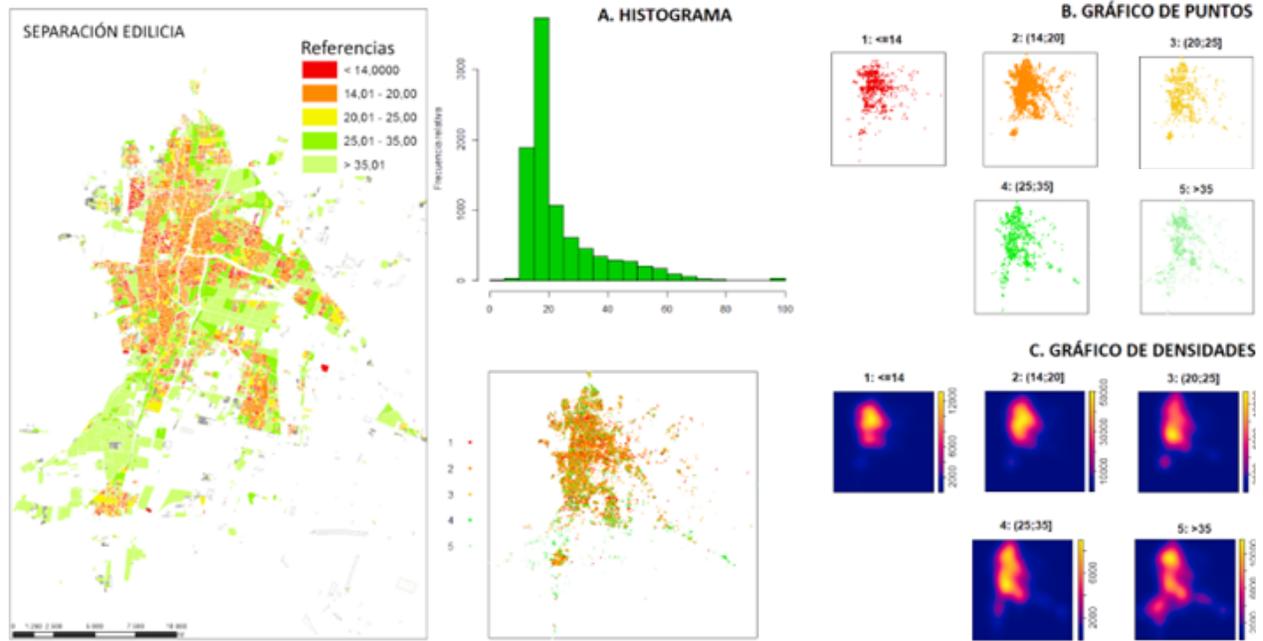
De los resultados categorizados de las manzanas urbanas para altura edilicia se observa que el 73,90 % posee una altura media <3,5 m; el 24,93 % entre 3,5 m y 9,5 m; el 1,18 % de las manzanas presenta una altura media >9,5 m. En la Figura 3 se muestran los resultados de valores de altura edilicia de las manzanas urbanas; se presentan gráficos de puntos para la categorización de las manzanas urbanas considerando 5 categorías y un gráfico continuo, en donde visualmente se detectan las áreas con concentración de las manzanas categorizadas, acentuada para las categorías 3 a 5 manzanas con mayor altura edilicia.

El 50 % de las manzanas urbanas centrales posee valores de separación edilicia que oscila entre los 15,41 y 27,08 m, que corresponden a manzanas que se clasifican dentro de la Categoría 3 y casi al 72,5 % de la Categoría 2 y al 27,5 % de la Categoría 4.

De las manzanas urbanas con datos catastrales del AMM la categoría con mayor representatividad de separación edilicia es la Categoría 2 con un 49,10 % de manzanas (valor medio 16,61 m) el 50 % de las manzanas que están en esa categoría presentan valores entre 15,29 m y 17,82 m. Seguida por la Categoría 5 con un 16,58 % (edificaciones de carácter aisladas). Las Categoría 3 y 4 representan el 22,93 %. En la Figura 4 se presentan gráficamente los resultados.

**Figura 4**

Cartografía de valores categorizados de separación edilicia, histograma de resultados, gráfico de puntos y de densidades



Nota. A. Histograma de resultados. B. Gráfico de puntos de valores categorizados de separación edilicia de las manzanas urbanas del AMM (Categoría 1:  $\leq 14,00$ ; Categoría 2: 14,01 -20,00; Categoría 3: 20,01-25,00; Categoría 4: 25,01-35,00; Categoría 5:  $>35,00$ ). C. Gráfico de densidades. Elaboración cartográfica de Manuela Fontanive.

De los datos generales se observa que el 75 % de las manzanas urbanas poseen un valor que no supera los 0,24 para la relación altura/separación edilicia de manzanas urbanas.

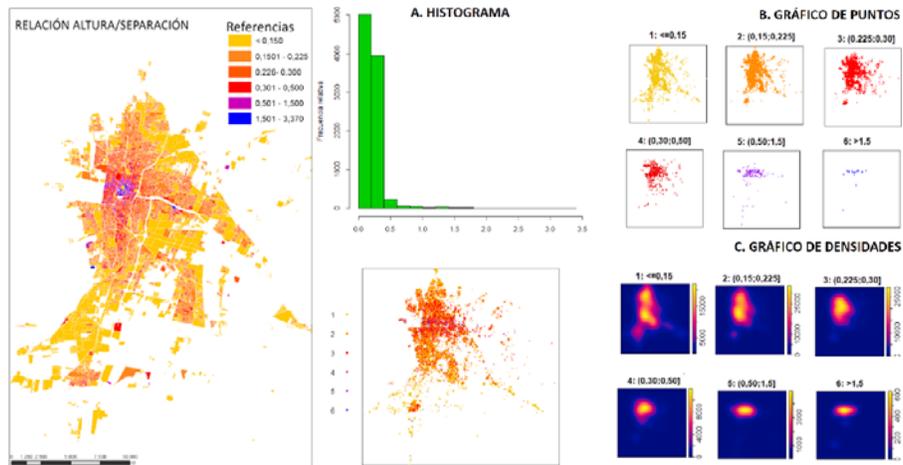
Los resultados categorizados para la variable relación altura/separación edilicia de manzanas urbanas muestran una representatividad en las categorías 1 a 3 del 90,52 % de las manzanas con valores  $\leq 0,30$ . Contemplando al 9,48 % restante, 887 manzanas con valores  $\geq 0,31$ . El 7,16 % de las manzanas posee valores relacionales  $\geq 1$  y el 0,24 %  $>1,50$ . En la Figura 5 se muestran los resultados de valores de relación altura/separación edilicia de las manzanas urbanas.

A partir de los datos generales, se afirma que el 75 % de las manzanas urbanas poseen una densidad edilicia que no supera los 1,90 m.

Los resultados del cálculo de densidad edilicia para las manzanas urbanas localizadas en el AMM se presentan en la Figura 6, se aporta la cartografía de los valores categorizados y se muestran los resultados mediante gráficos de punto para la categorización de las manzanas urbanas en siete categorías: Categoría 1:  $\leq 1$  representa el 27,19 %; Categoría 2: 1,01-1,40 el 14,70 %; Categoría 3: 1,41-2,00 el 38,96 %. Las Categorías 4 a 7 ( $\geq 2,01$ ) comprenden el 19,15 %. Además, se observa un gráfico continuo, en donde visualmente se detectan las áreas con concentración de manzanas categorizadas.

**Figura 5**

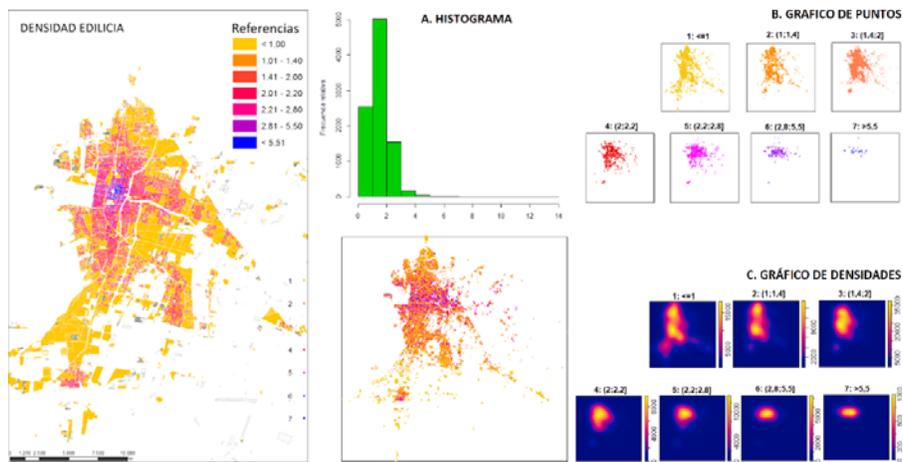
Cartografía de valores categorizados de relación altura/separación edilicia, histograma de resultados, gráfico de puntos y de densidades



Nota. A. Histograma de resultados. B. Gráfico de puntos de valores categorizados de relación altura/separación edilicia de las manzanas urbanas del AMM (Categoría 1:  $\leq 0,15$ ; Categoría 2: 0,16-0,22; Categoría 3: 0,23-0,30; Categoría 4: 0,31-0,50; Categoría 5: 0,51-1,50; Categoría 6:  $>1,50$ ). C. Gráfico de densidades. Elaboración cartográfica de Manuela Fontanive.

**Figura 6**

Cartografía de valores categorizados de densidad edilicia, histograma de resultados, gráfico de puntos y de densidades



Nota. A. Histograma de resultados. B. Gráfico de puntos de valores categorizados de relación altura/separación edilicia de las manzanas urbanas del AMM (Categoría 1:  $\leq 0,15$ ; Categoría 2: 0,16-0,22; Categoría 3: 0,23-0,30; Categoría 4: 0,31-0,50; Categoría 5: 0,51-1,50; Categoría 6:  $>1,50$ ). C. Gráfico de densidades. Elaboración cartográfica de Manuela Fontanive.

**Tabla 2**

Medidas resúmenes para las manzanas urbanas y correlación de Pearson. Variables altura edilicia (AE), separación edilicia (SE); relación altura/separación edilicia (AE/SE) y densidad edilicia (DE), por departamento

| Departamento | Var.         | Media | D.E.  | Mínimo | Máximo | Mediana | Q1    | Q3    | AE    | SE    | AE/SE | DE    |
|--------------|--------------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Capital      | <b>AE</b>    | 5,15  | 3,25  | 3,00   | 26,66  | 4,07    | 3,35  | 5,22  | 1     | -0,06 | 0,83  | 0,76  |
|              | <b>SE</b>    | 21,20 | 12,45 | 9,50   | 100,00 | 16,72   | 14,86 | 20,15 | -0,06 | 1     | -0,35 | -0,45 |
|              | <b>AE/SE</b> | 0,35  | 0,31  | 0,03   | 3,37   | 0,27    | 0,21  | 0,38  | 0,83  | -0,35 | 1     | 0,82  |
|              | <b>DE</b>    | 2,28  | 1,34  | 0,00   | 10,72  | 2,16    | 1,66  | 2,70  | 0,76  | -0,45 | 0,82  | 1     |
| Godoy Cruz   | <b>AE</b>    | 3,54  | 0,94  | 3,00   | 14,91  | 3,22    | 3,00  | 3,64  | 1     | 0,11  | 0,45  | 0,28  |
|              | <b>SE</b>    | 20,17 | 9,22  | 1,00   | 77,48  | 17,21   | 15,11 | 21,10 | 0,11  | 1     | -0,52 | -0,68 |
|              | <b>AE/SE</b> | 0,22  | 0,11  | 0,04   | 2,99   | 0,21    | 0,17  | 0,25  | 0,45  | -0,52 | 1     | 0,59  |
|              | <b>DE</b>    | 1,62  | 0,65  | 0,00   | 9,08   | 1,73    | 1,29  | 1,98  | 0,28  | -0,68 | 0,59  | 1     |
| Guay Mallén  | <b>AE</b>    | 3,40  | 1,14  | 3,00   | 29,25  | 3,15    | 3,00  | 3,45  | 1     | -0,01 | 0,58  | 0,21  |
|              | <b>SE</b>    | 22,23 | 12,25 | 9,19   | 100,00 | 17,35   | 15,16 | 24,01 | -0,01 | 1     | -0,56 | -0,73 |
|              | <b>AE/SE</b> | 0,20  | 0,10  | 0,03   | 1,66   | 0,21    | 0,15  | 0,24  | 0,58  | -0,56 | 1     | 0,67  |
|              | <b>DE</b>    | 1,48  | 0,67  | 0,00   | 4,92   | 1,63    | 1,04  | 1,94  | 0,21  | -0,73 | 0,67  | 1     |
| Las Heras    | <b>AE</b>    | 3,21  | 0,54  | 3,00   | 9,00   | 3,03    | 3,00  | 3,21  | 1     | 0,07  | 0,29  | 0,11  |
|              | <b>SE</b>    | 23,11 | 12,37 | 10,69  | 100,00 | 18,01   | 15,38 | 26,37 | 0,07  | 1     | -0,73 | -0,64 |
|              | <b>AE/SE</b> | 0,18  | 0,07  | 0,03   | 1,38   | 0,19    | 0,13  | 0,23  | 0,29  | -0,73 | 1     | 0,60  |
|              | <b>DE</b>    | 1,28  | 0,67  | 0,00   | 13,96  | 1,38    | 0,92  | 1,71  | 0,11  | -0,64 | 0,60  | 1     |
| Luján        | <b>AE</b>    | 3,30  | 0,56  | 3,00   | 8,85   | 3,09    | 3,00  | 3,40  | 1     | -0,04 | 0,16  | 0,18  |
|              | <b>SE</b>    | 32,87 | 18,02 | 2,12   | 100,00 | 28,72   | 17,60 | 45,79 | -0,04 | 1     | -0,52 | -0,77 |
|              | <b>AE/SE</b> | 0,15  | 0,14  | 0,03   | 3,05   | 0,13    | 0,08  | 0,20  | 0,16  | -0,52 | 1     | 0,42  |
|              | <b>DE</b>    | 0,97  | 0,69  | 0,00   | 3,24   | 0,85    | 0,35  | 1,60  | 0,18  | -0,77 | 0,42  | 1     |
| Maipú        | <b>AE</b>    | 3,17  | 0,43  | 3,00   | 6,29   | 3,00    | 3,00  | 3,15  | 1     | 0,01  | 0,27  | 0,11  |
|              | <b>SE</b>    | 28,86 | 16,83 | 4,38   | 100,00 | 21,69   | 16,85 | 36,03 | 0,01  | 1     | -0,73 | -0,77 |
|              | <b>AE/SE</b> | 0,15  | 0,08  | 0,03   | 1,29   | 0,15    | 0,09  | 0,20  | 0,27  | -0,73 | 1     | 0,68  |
|              | <b>DE</b>    | 1,07  | 0,64  | 0,00   | 3,20   | 1,16    | 0,51  | 1,61  | 0,11  | -0,77 | 0,68  | 1     |

También se observa que las categorías de las cuatro variables estudiadas: altura edilicia, separación edilicia, relación altura/separación edilicia y densidad edilicia están asociadas a los departamentos (p-valor <0,0001 para el test chi-cuadrado de independencia en los cuatro casos), por lo que las mismas deben estudiarse en cada uno de ellos.

En la Tabla 2 se muestran distintas medidas resúmenes y se presenta la correlación de Pearson de las variables y de las variables edilicias por departamento.

## Discusión

Al intentar establecer las características de ciudad compacta existe heterogeneidad de conceptos y dimensiones, junto con la prevalencia de diferentes índices y clasificaciones (Bibri, 2020b; Bibri, 2021; Dempsey et al. 2010; Lim, & Kain, 2016), pero diversos autores son coincidentes en valores morfológicos altos de densidades y compacidades, acotado al acceso a los recursos naturales (acceso al sol, brisas, entre otros).

Del análisis de los resultados de las variables estudiadas para el AMM, se observa un modelo de ciudad difusa, con valores bajos de altura edilicia, relación altura/separación edilicia, densidad edilicia y medios-bajos de separación edilicia. Esto sumado a los resultados previos sobre los procesos espaciales donde en los últimos 50 años se evidenciaron correlaciones positivas entre expansión urbana, crecimiento poblacional y consumos energéticos; y correlaciones negativas con los índices de vegetación en el Área Metropolitana de Mendoza (AMM), se plantea la necesidad de establecer estrategias futuras de manera de considerar las variables urbano-edilicias hacia un modelo más sostenible (Molina et al., 2020).

Actualmente, la morfología urbano-edilicia se presenta como mucho más compleja e interconectada a las variaciones climáticas, energético-ambientales, poblacionales y económicas que manifiestan interacciones complejas. Lo que muestra una importancia clara de los estudios sobre la morfología urbano-edilicia desde las perspectivas de eficiencia, generación energética y sostenibilidad regenerativa (Perera et al., 2021).

Examinando los resultados obtenidos hay una correlación positiva alta entre densidad edilicia y relación altura/separación edilicia ( $r = 0,73$ ) y entre esta última y altura edilicia ( $r = 0,71$ ); existiendo correlación negativa muy baja entre la altura edilicia y separación edilicia ( $r = -0,05$ ) y correlaciones moderadas entre las restantes (Tabla 1).

## Altura edilicia

Al contrastar los resultados obtenidos para la variable altura edilicia puede afirmarse que es un resultado particularmente significativo que el 97,05 % de las manzanas urbanas analizadas posean una altura edilicia media de la manzana  $< 6$  m (dos niveles de edificación). Del análisis estadístico por departamento el test LSD de Fisher indica que el valor medio de altura edilicia de las manzanas urbanas, en los seis departamentos, es significativamente distinto. Capital posee los valores medios más altos (5,15) y Maipú los valores medios más bajos en las manzanas urbanas (3,17). En Capital podrían implementarse estrategias de conservación y ganancia solar en muros en la estación invernal, en dicho departamento existe una correlación positiva alta de altura edilicia con densidad edilicia ( $r = 0,76$ ) y relación altura/separación edilicia ( $r = 0,83$ ) y una correlación negativa muy baja entre altura edilicia y separación edilicia ( $r = -0,06$ ).

En las manzanas y departamentos con menor altura edilicia, las medidas prioritarias deberían considerar mayor aislación en techos, permitiendo la instalación en los mismos de colectores solares para ACS y generación FV. Para los departamentos con menor altura edilicia Maipú, Las Heras, Luján, Guaymallén las superficies asoleadas de fachadas norte presentan un compromiso mayor con relación al acceso pleno al recurso solar comparada con techos (Figura 2. A, B, C y D). Los resultados obtenidos previamente (Arboit y de Rosa, 2008) demuestran que, en las zonas urbanas de baja altura edilicia, el dominio de la superficie de techos asoleada con relación a las áreas de fachadas norte es notorio (77 %), además el enmascaramiento de volúmenes edilicios de las manzanas y el arbolado urbano generan las obstrucciones mayores en energía solar disponible sobre el medio urbano. En la estación de verano el enfriamiento radiativo nocturno es una estrategia interesante para construcciones bajas con gran desarrollo de superficies de techos.

En el caso de edificios en altura, en la estación de invierno, las pérdidas por superficies horizontales de

cada edificio son comparativamente menores a las pérdidas por muro, donde la estrategia de aislación de envolventes debe priorizarse. En la estación de verano son necesarias estrategias también diferenciadas, la estrategia posible en edificios en altura sería maximizar la utilización de brisas, lo que asociado a la alta masa térmica (como la usual en el AMM) y a una buena ventilación cruzada permitirían un enfriamiento convectivo nocturno.

### *Separación edilicia*

Al igual que la variable altura edilicia, la variable separación edilicia tiene influencia sobre las sombras y los flujos de aire. A fin de completar los resultados mostrados en el presente trabajo se está avanzando con el estudio en GIS de la relación entre la altura del edificio y la altura media de los edificios circundantes en función del total aproximado de 528.400 unidades construidas localizadas en el AMM (con datos disponibles).

Al evaluar la separación edilicia, los valores de las manzanas urbanas del AMM resultaron significativamente distintos en todos los departamentos. Luján presentó los valores medios más altos (32,87 m) de separación edilicia. Esta juega un rol importante en la zona de baja densidad, ya que puede favorecer el acceso al sol, donde existen mayores pérdidas a través de superficies expuestas significativas. En el departamento de Godoy Cruz, los valores son comparativamente bajos en relación con el resto de los departamentos (20,17 m). La separación edilicia tiene una incidencia importante en el asoleamiento efectivo de las fachadas al norte; la presencia de espacios abiertos y corazones de manzana, combinados con retiros frontales y laterales, presentan una diferencia positiva. Las manzanas urbanas de los departamentos de Godoy Cruz y Capital son las más comprometidas desde la perspectiva de distancia edilicia, esto podría afectar la ganancia solar directa, ventilación e iluminación natural. Al interpretar los valores p del test de Pearson para todos los departamentos existe una correlación muy baja entre altura edilicia y separación edilicia en Capital, Godoy Cruz y Las Heras (p-valor <0,05), y nulas en los demás departamentos (p-valor = 0,64, 0,21 y 0,73 para Guaymallén, Luján y Maipú).

### *Relación altura/separación edilicia*

En el análisis de resultados se pueden identificar situaciones de separación edilicia estrechas y edificios altos, o situaciones de separaciones anchas y edificios bajos. Para la variable relación altura/separación edilicia, los valores son significativamente distintos en los departamentos del AMM con excepción de las manzanas de Luján de Cuyo y Maipú que presentan los valores más bajos (0,15). Capital posee el valor más alto comparado con el resto de los departamentos (0,35). Al interpretar los valores p del test de Pearson, hay una correlación positiva alta con la altura edilicia 0,71 y una correlación negativa moderada con separación edilicia de -0,46. Sin embargo, aun cuando la altura edilicia aumenta, existiendo separación edilicia, mejoran algunos de los indicadores del potencial solar.

Al interpretar los valores p del test de Pearson para las manzanas ubicadas en Capital, la variable relación altura/separación edilicia presenta una correlación positiva alta (0,83) con altura edilicia, y negativa baja (-0,35) con separación edilicia. Las correlaciones negativas más altas entre relación altura/separación edilicia y separación edilicia se presentan en Maipú y Las Heras (-0,73) y la correlación más baja entre relación altura/separación edilicia y altura edilicia en Luján de Cuyo (0,16). Las Categorías 5 y 6 con valores  $\geq 0,51$  acompañan el eje principalmente este-oeste del trazado del AMM (Acceso Este, Vicente Zapata, Colón) y el microcentro (esto se observa en la Figura 5 representación en gráficos de puntos).

### *Densidad edilicia*

Las manzanas de alta densidad edilicia representan una proporción baja en el AMM. Los resultados estadísticos indican que el 3,68 % de las manzanas son Categoría 6 y 7; del total el 0,37 % poseen una densidad edilicia  $\geq 5,51$ . En el AMM, las manzanas residenciales de alta densidad edilicia son más eficientes energéticamente que las manzanas con viviendas unifamiliares independientes, por lo que abordar la eficiencia energética es más práctico y rentable que para las manzanas con edificios más pequeños y bajas densidades

(Mutani et al., 2018). Los valores medios de densidad edilicia son significativamente diferentes en todos los departamentos, Capital y Godoy Cruz poseen las mayores densidades (2,28 y 1,62 respectivamente), mientras en Luján de Cuyo y Maipú presentan los valores más bajos (0,97 y 1,07). En estudios previos se ha observado una declinación de los valores de áreas asoleadas disponibles con el incremento de la densidad edilicia (Arboit y de Rosa, 2008; Arboit et al., 2008; Arboit et al., 2010).

Considerando los datos, al interpretar los valores p del test de Pearson hay una correlación positiva alta entre densidad edilicia y relación altura/separación edilicia 0,73 explicada parcialmente por la altura edilicia y las superficies sin construir en las manzanas urbanas. El aspecto relevante de la variable es la relación entre el volumen a calefaccionar/refrigerar y la disponibilidad de recursos (acceso al sol, brisas etc.).

Contrastando los resultados obtenidos con trabajos previos, a partir del desarrollo de un modelo energético para calefacción de espacios de edificios residenciales en el AMM (Mutani et al., 2018), los resultados de consumo energético de gas (kWh/m<sup>2</sup>) posibilitaron determinar un menor consumo para la zona central de la ciudad y un aumento hacia zonas periféricas. En el mismo estudio, el consumo global anual determina una tendencia del consumo opuesta (con valores mayores hacia el centro de la ciudad, mientras que estos disminuyen en la zona periférica). En ambos casos (consumos por m<sup>2</sup> y global anual) se registró un alto consumo a lo largo de la línea de expansión suroeste de la ciudad, donde tienen gran relevancia las viviendas unifamiliares; entre otros aspectos podrían mencionarse, los sistemas de calefacción-refrigeración y aspectos sociopoblacionales.

## Conclusiones

La humanidad se está enfrentando, y deberá enfrentarse en las décadas venideras, a verdaderos desafíos para conseguir la regeneración energética, ambiental, económica y social. Este desafío será aún mayor en las tierras secas, donde los recursos son limitantes para el desarrollo de las ciudades y de las actividades que necesitan las sociedades.

La investigación ha posibilitado evaluar algunas características espaciales y morfológicas típicas del AMM, a fin de implementar en el futuro un modelo para determinar estrategias dirigidas a maximizar la eficiencia y generación energética del sector edilicio urbano, con un aprovechamiento máximo de los recursos disponibles.

Se han cuantificado algunas variables edilicias (altura edilicia; separación edilicia; relación altura/separación edilicia y densidad edilicia), se ha realizado la producción de documentos cartográficos en SIG y la categorización de las manzanas urbanas en función de dichas variables para el AMM, que han posibilitado un análisis espacial.

Contemplando los resultados alcanzados en el presente trabajo sobre las variables edilicias y de los resultados previos obtenidos desde el modelo energético que combina dos enfoques: top-down (descendente) y bottom-up (ascendente), (Mutani et al., 2018), se espera determinar las correlaciones existentes para el AMM entre el consumo energético residencial (variable respuesta) y las variables urbano-edilicias; a fin de establecer variables principales y estrategias energéticas basadas en el patrimonio edilicio, identificando morfologías críticas y áreas que requieren una prioridad de intervención.

Contemplando el aspecto metodológico, fue posible elaborar una base de datos y documentos cartográficos GIS de consulta con disponibilidad de información sobre la geometría urbano-edilicia reales existentes en el AMM, aportando a uno de los desafíos locales que incluye la falta de datos geométricos integrados urbano-edilicios. Las discusiones, por su parte, lograron establecer prioridades

a escala urbana y departamental de la cuantificación las variables analizadas y la categorización de las manzanas urbanas en función de dichas variables.

Finalmente, en el camino hacia un futuro, los altos niveles de complejidad no se limitan a las cuestiones técnicas, además, se requiere la contribución de estudios de las ciencias sociales donde se está abordado la temática de patrimonialización de la ciudad oasis y el ecosistema árido pedemontano, como bienes culturales-ambientales de adaptación al clima semidesértico y como recurso de desarrollo local e innovación sociocultural (Suden, 2022).

En este sentido es clave el modelo de ciudad oasis del AMM (Bórmida, 2014), que permite acceso al sol en la estación de invierno, acceso a las brisas nocturnas en la estación de verano y una isla de refrescamiento durante las horas centrales del día, generada por los beneficios del arbolado en la estación cálida. Se cree factible revalorizar, preservar y regenerar el modelo actual en zonas ya consolidadas y plantear un nuevo modelo urbano a futuro. El trabajo transdisciplinario permitirá centrarse en las morfologías urbano-edilicias ante los diferentes contextos culturales, el patrimonio urbano-edificio y paisajístico, las diferentes oportunidades, y limitaciones para el progreso hacia la sostenibilidad energético-ambiental.

## Agradecimientos

Se agradece el trabajo y elaboración de Manuela Fontanive (Politecnico di Torino), con experticia en SIG como parte de prácticas profesionales supervisadas realizadas en INCIHUSA-CONICET y la colaboración de la diseñadora Cecilia Camino CPA INCIHUSA-CONICET.

## Referencias

Aboelata, A. (2020). Vegetation in different street orientations of aspect ratio (H/W 1:1) to mitigate UHI and reduce buildings' energy in arid climate. *Building and Environment*, 172. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.106712>

Ahn, Y. J., & Sohn, D.W. (2019). The effect of neighbourhood-level urban form on residential building energy use: A GIS-based model using building energy benchmarking data in Seattle. *Energy and Buildings*, 196, 124-133. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.018>

Ali, U., Shamsi, M. H., Hoare, C., Mangina, E., & O'Donnell, J. (2021). Review of urban building energy modeling (UBEM) approaches, methods and tools using qualitative and quantitative analysis. *Energy and Buildings*, 246. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111073>

Allen-dumas, M. R., Rose, A. N., New, J. R., Omitaomu, O. A., Yuan, J., Branstetter, M. L., Sylvester, L. M., Seals, M. B., Carvalhaes, T. M., Adams, M. B., Bhandari, M. S., Shrestha, S. S., Sanyal, J., Berres, A. S., Kolosna, C. P., Fu, K. S. y Kahl, A. C. (2020). Impacts of the morphology of new neighborhoods on microclimate and building energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110030. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110030>

Ángel, S., Lamson-Hall, P., Madrid, M., Blei, A. M., Parent, J., Galarza Sánchez, N., & Thom, K. (2016). Atlas of Urban Expansion, 2: *Blocks and Roads*. NYU Urban Expansion Program; UN-Habitat; Lincoln Institute of Land Policy. <https://www.lincolninst.edu/sites/default/files/pubfiles/atlas-of-urban-expansion-2016-volume-2-full.pdf>

Arboit, M. y Betman, E. (2014). Radiación solar en entornos urbanos forestados con clima seco. Caso: Área Metropolitana de Mendoza, Argentina. *Revista de Urbanismo*, 16(31), 76-94. <https://doi.org/10.5354/0717-5051.2014.29425>

Arboit, M. y de Rosa, C. (2008). Obstrucción solar en función de la morfología urbana y edilicia en ciudades andinas de clima árido. El caso del Área Metropolitana de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 12, 111-117. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/94249>

- Arboit, M., Diblasi, A., Fernández Llano, J. C. y de Rosa, C. (2008). Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. *Renewable Energy*, 33(8), 1733-1748. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.11.007>
- Arboit, M. y Maglione, D. (2019). Impacto edilicio y del arbolado sobre el índice de vegetación en el área metropolitana de Mendoza, Argentina. *Proyección Estudios Geográficos y de Ordenamiento Territorial*, 13(26), 5-40. <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/proyeccion/article/view/2836>
- Arboit, M., Maglione, D. y Mutani, G. (2020). Determinación del Factor de Forma (FF): el caso del Área Metropolitana de Mendoza. *Cuaderno Urbano*, 28(28), 9-33. <https://doi.org/10.30972/crn.28284322>
- Arboit, M., Mesa, A., Diblasi, A., Fernández Llano, J. C. y de Rosa, C. (2010). Assessing the solar potential of low-density urban environments in Andean cities with desert climates - The case of the city of Mendoza, in Argentina. 2nd.Part. *Renewable Energy*, 35(7), 1551-1558. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.027>
- Bakarman, M. A., & Chang, J. D. (2015). The Influence of Height/width Ratio on Urban Heat Island in Hot-arid Climates. *Procedia Engineering*, 118, 101-108. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.408>
- Balter, J., Ganem, C. y Discoli, C. (2016). Edificios en altura mäsicos y livianos en ciudades-oasis: evaluación térmica y energética de viviendas debajo y sobre la copa de los árboles en Mendoza, Argentina. *Ambiente Construido*, 16(1). <https://doi.org/10.1590/s1678-86212016000100059>
- Banco Mundial. (2020). *Perspectivas de la urbanización mundial* [Conjunto de datos]. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS?end=2020&start=1960&view=chart>
- Belussi, L., Barozzi, B., Bellazzi, A., Danza, L., Devitofrancesco, A., Fanciulli, C., Ghellere, M., Guazzi, G., Meroni, I., Salamone, F., Scamoni, F., & Scrosati, C. (2019). A review of performance of zero energy buildings and energy efficiency solutions. *Journal of Building Engineering*, 25, 100772. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100772>
- Bibri, S. (2020a). Compact urbanism and the synergic potential of its integration with data-driven smart urbanism: An extensive interdisciplinary literature review. *Land Use Policy*, 97, 104703. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104703>
- Bibri, S. E. (2020b). *Advances in the Leading Paradigms of Urbanism and Their Amalgamation: Compact Cities, Eco-cities, and Data-Driven Smart Cities*. Springer Nature Switzerland AG. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-41746-8>
- Bibri, S. E. (2021). A novel model for data-driven smart sustainable cities of the future: the institutional transformations required for balancing and advancing the three goals of sustainability. *Energy Informatics*, 4, 4. <https://doi.org/10.1186/s42162-021-00138-8>
- Bonczak, B., & Kontokosta, C. E. (2019). Large-scale parameterization of 3D building morphology in complex urban landscapes using aerial LiDAR and city administrative data. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 126-142. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.09.004>
- Bourbia, F., & Awbi, H. B. (2004). Building cluster and shading in urban canyon for hot dry climate: Part 2: Shading simulations. *Renewable Energy*, 29(2), 291-301. [https://doi.org/10.1016/S0960-1481\(03\)00171-X](https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00171-X)
- Bórmida, E. (2014). *Mendoza, una ciudad oasis*. *Revista de la Universidad de Mendoza*, (4/5), 131-137. <https://www.um.edu.ar/ojs2019/index.php/RUM/article/view/189>

- Bórmida, E. y Dabul, N. (2014). Mendoza: Ensayo sobre morfología, historia e identidad urbanas. *Revista de la Universidad de Mendoza*, 8(9), 147-164. <https://www.um.edu.ar/ojs2019/index.php/RUM/article/view/151>
- Bórmida, E. y Moretti, G. (2005). *Mendoza, Guía de arquitectura*. Junta de Andalucía. [https://www.junta.deandalucia.es/fomento-y-vivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/arquitectura/fomento/guias\\_arquitectura/adjuntos\\_ga/mendoza\\_ex1x.pdf](https://www.junta.deandalucia.es/fomento-y-vivienda/estaticas/sites/consejeria/areas/arquitectura/fomento/guias_arquitectura/adjuntos_ga/mendoza_ex1x.pdf)
- Cárdenas-Jirón, L. y Chang Lou, J. (2019). Acceso solar en espacio urbano: simulaciones energéticas para su mitigación en alta densidad inmobiliaria residencial. Santiago Centro Sur. *Revista 180*, (44), 95-109. [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.\(2019\).art-630](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-44.(2019).art-630)
- Cerezo Davila, C.; Reinhart, C.F. y Bemis, J.L. (2016). Modeling Boston: A workflow for the efficient generation and maintenance of urban building energy models from existing geospatial datasets. *Energy*, 117(1), 237-250. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.10.057>
- Chatzipoulka, C., Compagnon, R. y Nikolopoulou, M. (2016). Urban geometry and solar availability on façades and ground of real urban forms: using London as a case study. *Solar Energy*, 138, 53-66. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2016.09.005>
- Chen, G., Wang, D., Wang, Q., Li, Y., Wang, X., Hang, J., Gao, P., Ou, C., & Wang, K. (2020). Scaled outdoor experimental studies of urban thermal environment in street canyon models with various aspect ratios and thermal storage. *Science of The Total Environment*, 726, 138147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138147>
- Chen, H-C., Han, Q., & de Vries, B. (2020). Urban morphology indicator analyzes for urban energy modeling. *Sustainable Cities and Society*, 52, 101863. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101863>
- Colucci, C., Mauri, L., Grignaffini, S., Romagna, M., Cedola, L., & Kanna, R. (2017). Influence of the façades convective heat transfer coefficients on the thermal energy demand for an urban street canyon building. *Energy Procedia*, 126, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.08.047>
- D'Amanzo, M., Mercado, M. y Ganem-Karlen, C. (2020). 10 preguntas de los edificios energía cero: revisión del estado del arte. *Hábitat Sustentable*, 10(2), 24-41. <https://doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.02>
- De Lemos Martins, T. A., Faraut, S., & Adolphe, L. (2019). Influence of context-sensitive urban and architectural design factors on the energy demand of buildings in Toulouse, France. *Energy and Buildings*, 190, 262-278. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.02.019>
- Dempsey, N., Brown, C., Raman, S., Porta, S., Jenks, M., Jones, C., & Bramley, G. (2010). Elements of urban form. En M. Jenks & C. Jones (Eds.), *Dimensions of the Sustainable Cities*, 2, (Future City) (pp. 21-51). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8647-2>
- Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M. y Robledo C.W. (2020). *InfoStat* versión 2020. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba.
- Dirección General de Catastro. (2021). *Infraestructura de datos espaciales. Parcelas*. [Conjunto de datos] Recuperada el 6 de agosto de 2021. <https://www.atm.mendoza.gov.ar/portala/m/zonaTop/catastro/catastro.jsp>
- Ferrari, S., Zagarella, F., Caputo, P., & Bonomolo, M. (2019a). Assessment of tools for urban energy planning. *Energy*, 176, 544-551. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.054>
- Ferrari, S., Zagarella, F., Caputo, P. & D'Amico, A. (2019b). Results of a literature review on methods for estimating buildings energy demand at district

- level. *Energy*, 175, 1130-1137. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.172>
- Filogamo L., Rizzo G., Peri G., & Giaccone A. (2014). On the classification of large residential buildings stocks by sample typologies for energy planning purposes. *Applied Energy*, 135, 825-835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.04.002>
- Fracastoro G. V., & Serraino M. (2011). A methodology for assessing the energy performance of large-scale building stocks and possible applications. *Energy and Buildings*, 43(4), 844-852. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.12.004>
- Frayssinet, L., Merlier, L., Kuznik, F., Hubert, J. L., Milliez, M., & Roux, J.J. (2018). Modeling the heating and cooling energy demand of urban buildings at city scale. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(2), 2318-2327. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.040>
- Furlani de Civit, M. (1994). La red de riego, principal componente de la estructura espacial del oasis norte de Mendoza, 1890-1930. *Boletín de Estudios Geográficos*, 25(89), 125-142.
- Gago, E. J., Roldan, J., Pacheco-Torres, R., & Ordóñez, J. (2013). The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 749-758. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.05.057>
- Gibbons, L. (2020). Regenerative - The New Sustainable? *Sustainability*, 12(13), 5483. <https://doi.org/10.3390/su12135483>
- Gobierno de Mendoza. (s.f.). *Infraestructura Datos Espaciales Mendoza* [Conjunto de datos]. Recuperada el 6 de agosto de 2021. <https://www.mendoza.gov.ar/idem/>
- González-Márquez, I., & Toledo, V. (2020). Sustainability Science: A Paradigm in Crisis? *Sustainability*, 12(7), 2802. <https://doi.org/10.3390/su12072802>
- Guaycochea, R. (1978). *Arquitectura de Mendoza: Gran Mendoza 1780-1925*. Universidad de Mendoza.
- Huang, K-T, & Li, Y-J. (2017). Impact of street canyon typology on building's peak cooling energy demand: A parametric analysis using orthogonal experiment. *Energy and Buildings*, 154, 448-464. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.054>
- Huang, X., Li, C., & Zhuang, Z. (2021). Analysis of Height-to-Width Ratio of Commercial Streets with Arcades Based on Sunshine Hours and Street Orientation. *Applied Sciences*, 11(4), 1706. <https://doi.org/10.3390/app11041706>
- Infraestructura Datos Espaciales Mendoza. (2021). *Base cartográfica*. [Conjunto de datos] <http://idemza2.mendoza.gov.ar/>
- Instituto Geográfico Nacional de la República Argentina. (2021). [Conjunto de datos] Capas SIG. Hábitat e infraestructura social. Recuperada el 6 de agosto de 2021. <https://www.ign.gov.ar/NuestrasActividades/InformacionGoespacial/CapasSIG>
- Inzulza Contardo, J., Wolff Cecchi, C. y Vargas Lara, K. (2017). Acceso solar: un derecho urbano para la calidad de vida vulnerado desde la gentrificación contemporánea. El caso de la comuna de Estación Central, Chile. *Revista 180*, (39), 1-14. [http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-39.\(2017\).art-283](http://dx.doi.org/10.32995/rev180.Num-39.(2017).art-283)
- Jabareen, Y. (2006). Sustainable Urban Forms: Their Typologies, Models, and Concepts. *Journal of Planning Education and Research*, 26(1), 38-52. <https://doi.org/10.1177/0739456X05285119>
- Jenks, M., & Burgess, R. (2000). *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*. Spon Press.
- Jenks, M., Burton, E., & Williams, K. (1996). *The Compact City: A Sustainable Urban Form?* Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203362372>

- Jensen, S., Marszal-Pomianowska, A., Lollini, R., Pasut, W., Knotzer, A., Engelmann, P., Stafford, A., & Reynders, G. (2017). IEA EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings. *Energy and Buildings*, 155, 25-34. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.044>
- Johari, F., Peronato, G., Sadeghian, P., Zhao, X., & Widén, J. (2020). Urban Building Energy Modeling: State of the Art and Future Prospects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128, 109902. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109902>
- Leng, H., Chen, X., Ma, Y., Wong, N.H. y Ming, T. (2020). Urban morphology and building heating energy consumption: Evidence from Harbin, a severe cold region city. *Energy and Buildings*, 224, 110143. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110143>
- Li, W., Zhou, Y., Cetin, K., Eom, J., Wang, Y., Chen, G., & Zhang, X. (2017). Modeling urban building energy use: A review of modeling approaches and procedures. *Energy*, 141, 2445-2457. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.071>
- Li, X., Ying, Y., Xu, X., Wang, Y., Hussain, S. A., Hong, T., & Wang, W. (2020b). Identifying key determinants for building energy analysis from urban building datasets. *Building and Environment*, 181, 107114. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107114>
- Li, Y., Wang, C., Zhu, S., Yang, J., Wei, S., Zhang, X., & Shi, X. (2020a). A Comparison of Various Bottom-Up Urban Energy Simulation Methods Using a Case Study in Hangzhou, China. *Energies*, 13(18), 4781. <https://doi.org/10.3390/en13184781>
- Lim, H., & Kain, J.-H. (2016). Compact Cities Are Complex, Intense and Diverse but: Can We Design Such Emergent Urban Properties? *Urban Planning*, 1(1), 95-113. <https://doi.org/10.17645/up.v1i1.535>
- Lim, H., & Zhai, Z. J. (2017). Review on stochastic modeling methods for building stock energy prediction. *Building Simulation*, 10, 607-624. <https://doi.org/10.1007/s12273-017-0383-y>
- Manzini Marchesi, L. (2018). Momentos críticos en la conformación del territorio que influyeron en la degradación del paisaje vitivinícola del área metropolitana de Mendoza: (1880-2010). *Boletín de Estudios Geográficos*, (109), 93-138. <https://bdigital.uncu.edu.ar/11481>
- Margulis, S. (2017). *Vulnerabilidad y adaptación de las ciudades de América Latina al cambio climático*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. [https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41041/1/S1700017\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/41041/1/S1700017_es.pdf)
- Martinelli, L., & Matzarakis, A. (2017). Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society*, 29, 97-106. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.004>
- Mauree, D., Naboni, E., Coccolo, S., Perera, A.T.D., Nik, V. M., & Scartezzini, J. L. (2019). A review of assessment methods for the urban environment and its energy sustainability to guarantee climate adaptation of future cities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 112, 733-746. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.06.005>
- Mesa, N., Corica, L., & Pattini, A. (2011). Evaluation of the potential of natural light to illuminate buildings in dense urban environment. A study in Mendoza, Argentina. *Renewable Energy*, 36(9), 2414-2423. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.02.005>
- Mesa, N. A. y de Rosa, C. (2001). La incidencia de las variables morfológicas, sobre la eficiencia energética de la edificación urbana en el área metropolitana de Mendoza. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 5, 37-42. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79776>

- Molina, G., Arboit, M., Maglione, D., Sedevich, A. y Mutani, G. (2020). Estudio de expansión urbana, crecimiento poblacional, consumos energéticos e índices de vegetación en el Área Metropolitana de Mendoza. *AREA*, 26(1), 1-21. <https://area.fadu.uba.ar/area-2601/molina-et-al/>
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Khreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., Bartoll, X., Daher, C., Deluca, A., Echave, C., Milà, C., Márquez, S., Palou, J., Pérez, K., Tonne, C., Stevenson, M., Rueda, S., & Nieuwenhuijsen, M. (2020). Changing the urban design of cities for health: The superblock model. *Environment International*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132>
- Mutani, G., Carozza, M., Todeschi, V., & Rolando, A. (2020). *Urban-Scale Energy Models: relationship between urban form and energy performance*. 2020 IEEE 3rd International Conference and Workshop in Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE), 20476878, 000185-000190. Budapest, Hungary. <https://doi.org/10.1109/CANDO-EPE5110.0.2020.9337760>
- Mutani, G., Fontanive, M., & Arboit, M. (2018). Energy-use modelling for residential buildings in the metropolitan area of Gran Mendoza (AR). *Italian Journal of Engineering Science: Tecnica Italiana*, 61(2), 74-82. [http://iijeta.org/sites/default/files/Journals/TI-IJES/61+1.02\\_04.pdf](http://iijeta.org/sites/default/files/Journals/TI-IJES/61+1.02_04.pdf)
- Mutani, G., & Todeschi, V. (2017). Space heating models at urban scale for buildings in the city of Turin (Italy). *Energy Procedia*, 122, 841-846. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.445>
- Nouvel, R., Mastrucci, A., Leopold, U., Baume, O., Coors, V., & Eicker, U. (2015). Combining GIS-based statistical and engineering urban heat consumption models: Towards a new framework for multi-scale policy support. *Energy and Buildings*, 107, 204-212. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.08.021>
- Oke, T. (1988a). The urban energy balance. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 12(4), 471-508. <https://doi.org/10.1177/030913338801200401>
- Oke, T. (1988b). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1-3), 103-113. [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(88\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0378-7788(88)90026-6)
- Otero, D., Cohn, R. y Arboit, M. (2019). *Estudio de normativas urbano-edilicias para la eficiencia energética*. Godoy Cruz, Mendoza, Argentina. III ISUF-H Congreso Internacional. Ciudad Compacta versus Ciudad Difusa, 105-116, Guadalajara. <http://dx.doi.org/10.4995/ISUFh2019.2019.9958>
- Perera, A., Javanroodi, K., & Nik, V. (2021). Climate resilient interconnected infrastructure: Co-optimization of energy systems and urban morphology. *Applied Energy*, 285, 116430. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116430>
- Ponte, R. (2008). Mendoza, aquella ciudad de barro. *Historia de una ciudad andina, desde el siglo XVI hasta nuestros días*. CONICET de Argentina e Imprenta Unión.
- Prieto, M., Rojas, F., Castrillejo, T. y Hernández, F. (2012). Procesos ambientales y construcción del territorio a partir de un estudio de caso: La ciénaga del Bermejo, oasis Norte de Mendoza 1810-1930. *Revista de Historia Americana y Argentina*, 47(2), 175-207. [https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/8457/05-prieto-rojas-otros-rhaya-v47n2.pdf](https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/8457/05-prieto-rojas-otros-rhaya-v47n2.pdf)
- R Core Team (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <https://www.R-project.org/>
- Reed, B. (2007). Shifting from “sustainability” to regeneration. *Building Research & Information*, 35(6), 674-680. <https://doi.org/10.1080/09613210701475753>
- Rueda, S. (1997). *La ciudad compacta y diversa frente a la conurbación difusa*. <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a009.html>

- Rueda, S. (2019) Superblocks for the Design of New Cities and Renovation of Existing Ones: Barcelona's Case. En M. Nieuwenhuijsen, & H. Khreis (Eds.), *Integrating Human Health into Urban and Transport Planning* (pp. 135-153). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-74983-9\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-74983-9_8)
- Ruggeri, M.F., Lana, N.B., Altamirano, J.C., & Puliafito, S.E. (2020). Spatial distribution, patterns and source contributions of POPs in the atmosphere of Great Mendoza using the WRF/CALMET/CALPUFF modelling system. *Emerging Contaminants*, 6, 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2020.02.002>
- Sanabria Artunduaga, T. y Ramírez Ríos, J. (2017). Ciudad compacta vs. ciudad difusa. Ecos antiguos y recientes para las políticas de planeación territorial y espacial. *Cuaderno Urbano*, 22(22), 29-52. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=369251998002>
- Savvides, A., & Vassiliades, C. (2017). Designing urban building blocks around solar planning principles. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 226, 679-690. <https://doi.org/10.2495/SDP170591>
- Servicio Meteorológico Nacional (2021). *Descarga del Catálogo de Datos Abiertos del SMN* [Conjunto de datos]. Estadísticas climatológicas Normales. <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>
- Servicio Meteorológico Nacional (2021). *Descarga del Catálogo de Datos Abiertos del SMN* [Conjunto de datos] Radiación Solar. <https://www.smn.gob.ar/descarga-de-datos>
- Schulte, N., Tan, S., & Venkatram, A. (2015). The ratio of effective building height to street width governs dispersion of local vehicle emissions. *Atmospheric Environment*, 112, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2015.03.061>
- Shareef, S., & Abu-Hijleh, B. (2020). The effect of building height diversity on outdoor microclimate conditions in hot climate. A case study of Dubai-UAE. *Urban Climate*, 32, 100611. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100611>
- Sharifi, A. (2019). Resilient urban forms: A review of literature on streets and street networks. *Building and Environment*, 147, 171-187. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.040>
- Shi, Z.; Fonseca, J. A., & Schlueter, A. (2021). A parametric method using vernacular urban block typologies for investigating interactions between solar energy use and urban design. *Renewable Energy*, 165(1), 823-841. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.067>
- Song, S., Leng, H., Xu, D., Guo, R., & Zhao, Y. (2020). Impact of Urban Morphology and Climate on Heating Energy Consumption of Buildings in Severe Cold Regions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22), 8354. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228354>
- Suden, C. (2022). Paisaje cultural patrimonializado: conceptos y aportes sobre la base de tres casos de estudio. Provincia de Mendoza, Argentina. *PASOS Revista de Turismo y Patrimonio Cultural*, 20(2), 435-452. <https://doi.org/10.25145/j.pasos.2022.20.031>
- Torabi, S., Toniolo, J., Mutani, G., & Lombardi, P. (2018). A GIS-statistical approach for assessing built environment energy use at urban scale. *Sustainable Cities and Society*, 37, 70-84. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.10.002>
- Valdés Alé, R. (2021). *La influencia de las pandemias en el derecho urbanístico chileno*. Plataforma Arquitectura. Sa Cabana Editorial.
- Vartholomaios, A. (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city. *Sustainable Cities and Society*, 28, 135-145. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.006>

- Wolff, C. (2014). Estrategias, sistemas y tecnologías para el uso de luz natural y su aplicación en la rehabilitación de edificios históricos [Tesis doctoral E.T.S. Arquitectura, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio institucional <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.35206>
- Zhang, J., Xu, L., Shabunko, V., Tay, S.E.R., Sun, H., Lau, S.S.Y., & Reindl, T. (2019). Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. *Applied Energy*, 240, 513-533. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.033>