

## EL PATIO COMO ELEMENTO CLAVE EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE EDIFICIOS. EL CASO DE CÓRDOBA.

C. Galán-Marín<sup>1</sup>, V. P. López-Cabeza<sup>1</sup>, C. Rivera-Gómez<sup>1</sup>, J. Roa-Fernández<sup>1</sup>, Juan M. Rojas-Fernández<sup>1</sup>

Palabras clave: patios, arquitectura vernácula, Córdoba, eficiencia energética, rehabilitación

### Resumen

La arquitectura vernácula en el clima mediterráneo tiene como característica el uso del patio como espacio de transición y elemento atemperante de las que pueden llegar a ser unas condiciones climáticas exteriores extremas. El reconocimiento de este tipo de espacios como elementos de acondicionamiento pasivo es necesaria para aprovechar toda su potencialidad en la recuperación del patrimonio edificado. Los estudios demuestran que el patio es un elemento clave en la eficiencia energética del edificio en climas de latitudes como la de Córdoba. De nuestros estudios se obtiene la conclusión de que Córdoba es una de las ciudades con más proporción de patio por volumen construido y dichos patios poseen en muchos casos geometrías similares. Se ha realizado un estudio de la evolución de la temperatura en algunos ejemplos de patios de edificios tradicionales, concluyendo una importante reducción con respecto a las condiciones climáticas exteriores. Por consiguiente, la puesta en valor de estos espacios en la rehabilitación del parque edificado es esencial y una gran oportunidad para cumplir con las indicaciones de la Directiva Europea 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de edificios.

### Abstract

THE COURTYARD AS A KEY ELEMENT IN THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS. THE CASE OF CÓRDOBA

Vernacular architecture in the Mediterranean climate is characterized by the use of the courtyard as a tempering element of the outdoor climatic conditions which can be extreme. It is needed to recognize these elements as passive conditioning strategies in order to take advantage of its potential in the renovation of the building heritage. Previous research demonstrated that courtyards are key elements in the energy efficiency of buildings in latitudes as Córdoba. From our studies, we conclude that Córdoba is one of the cities with the highest volume of courtyards per building element and those courtyards have a low Aspect Ratio (between 1 and 2). A study of the thermal evolution in some cases of courtyards of this kind, monitoring an important reduction of the temperature in relation to the outdoor climatic conditions. Hence, the recovery of these spaces in the renovation of the building heritage is essential and a great opportunity to accomplish the European Directive 2010/31/UE related to energy efficiency of buildings.

<sup>1</sup> Afiliación: Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Avenida Reina Mercedes 2. Sevilla 41012.

## Introducción

La introducción del elemento patio en la arquitectura tradicional es una característica de numerosas culturas en todo el mundo, especialmente las ligadas a climas templados y cálidos. El origen del patio en la arquitectura se remonta a más de 5000 años y ha sido característico en civilizaciones antiguas como la mesopotámica, egipcia, o la antigua china, en la cultura clásica griega y romana, así como en la edad media en la cultura islámica y el renacimiento (Taleghani, Tenpierik, & van den Dobbelsteen, 2012). En la cultura mediterránea, la casa popular, heredera de la cultura islámica, presenta el elemento patio como organizador del conjunto y relación íntima con el ambiente exterior, ya que las edificaciones no disponen de una gran fachada a la calle (Capitel, 2005).

Además del impacto sociocultural de los patios en estos edificios, su geometría está íntimamente ligada con el clima en el que se encuentran. La geometría del patio influye en su comportamiento termodinámico, y el conocimiento popular sabía aprovechar esta característica para hacer de los patios un elemento determinante en el acondicionamiento de los edificios. Investigaciones sobre el comportamiento termodinámico de los patios describen un efecto atemperante debido a las interacciones termodinámicas que se crean entre paredes y aire, creándose efectos de estratificación, convección y patrones de flujo (Rojas, Galán-Marín, & Fernández-Nieto, 2012):

- Estratificación. Si los muros tienen una temperatura inferior a la temperatura del aire, el aire en contacto con ellos se enfría. Esto hace que el aire, una vez enfriado, descienda, desplazando al aire más caliente hacia capas superiores, de ahí un reparto del aire en la altura del patio en función de su temperatura.
- Convección: Si los muros están más calientes que el aire (lo que puede producirse por el efecto de la radiación solar), el aire en contacto con ellos se calienta y asciende, creándose un efecto de convección que hace que el aire frío

descienda por el centro del patio a niveles inferiores.

- Patrones de Flujo: Las corrientes de aire que se producen en el patio por efecto del viento, por ejemplo, son otro factor determinante en su comportamiento termodinámico. Estos patrones están determinados por la geometría del patio.

Para describir la geometría de los patios analizados se utiliza el concepto del Aspect Ratio, un concepto inicialmente descrito por Hall (Hall, Walker, & Spanton, 1999) que relaciona la altura y la anchura del patio según la siguiente expresión:

$$AR = h_{\max}/W$$

Donde  $H_{\max}$  es la altura máxima del patio y  $W$  es su anchura.

De este modo, si nos centramos en el clima Mediterráneo, y en concreto en la ciudad de Córdoba, predominan las geometrías con patios con un Aspect Ratio entre 1 y 2 (Rojas-Fernández, Galán-Marín, Roa-Fernández, & Rivera-Gómez, 2017). Esa geometría proporciona además más sombra a los muros del patio, siendo beneficioso ante las temperaturas extremas del verano mediterráneo.

Otros factores además de la geometría han sido analizados en estudios anteriores como influyentes en el comportamiento termodinámico de los patios. De este modo, los más importantes son la orientación, la vegetación, elementos de sombra, el albedo de sus superficies (fracción de radiación solar reflejada), o presencia de agua (Abdulkareem, 2016; Ghaffarianhoseini, Berardi, & Ghaffarianhoseini, 2015).

Un análisis pormenorizado del comportamiento de los patios en los edificios patrimoniales es necesario para comprender su influencia en el comportamiento energético de los mismos, y de este modo incorporarlos en las justificaciones energéticas que se han de hacer de cara a la Directiva 2010/31/UE, EPBD (Comisión Europea, 2010), del Parlamento Europeo, relativa a la eficiencia energética de los

edificios. Si bien no existen aún directrices para edificios existentes, sí se indica que los Estados deben tomar medidas para hacer que sus edificios se acerquen al consumo energético casi nulo. De ahí la importancia de conocer la influencia del patio en edificios patrimoniales y aprovechar la oportunidad que presentan.

En la presente investigación se han analizado los patios de dos edificios de tipología tradicional en la ciudad de Córdoba, en los meses de verano, en los que se espera que su influencia, como elemento atemperante del clima, sea mayor. Se pretende demostrar el gran potencial de los espacios de transición en el comportamiento energético de edificios existentes.

## Materiales y métodos

En esta investigación se han monitorizado dos patios de casas tradicionales en el casco histórico de la ciudad de Córdoba, Patrimonio Mundial de la Humanidad, con el objetivo de demostrar el carácter atemperante de los patios en el patrimonio arquitectónico. Córdoba (España, 37°53'00"N 4°46'00"O, elevación 106 m s.n.m), perteneciente al clima Mediterráneo, se engloba dentro de la categoría Csa en la clasificación de Köppen (Kottek, Grieser, Beck, Rudolf, & Rubel, 2006), caracterizada por veranos secos y calurosos con temperaturas medias por encima de los 28°C e inviernos templados con temperaturas medias por encima de los 9°C. En la clasificación del Código Técnico español, se corresponde con la categoría B4, es decir, la mayor severidad climática posible en el caso de verano (“CTE. Código técnico de la Edificación. Documento Básico HE Ahorro de energía”).



Fig. 1. Localización de los patios en el centro histórico de Córdoba.

Los patios analizados presentan geometrías similares que se describen a continuación:

Palacio de La Concha (Fig. 2). Casa solariega del s.XVII remodelada en 1963 por Rafael de la Hoz. Presenta una tipología de casa patio tradicional andaluza con patio central porticado por tres de sus lados. Se encuentra en el centro de la ciudad, a escasos metros de La Mezquita Catedral. El patio tiene unas dimensiones de 9,0 x 9,6 metros y una altura de 8,1, resultando un valor de AR de 0,90 y 0,84 en cada dirección, como viene siendo habitual en este tipo de arquitectura mediterránea. Los muros delimitadores del patio presentan un acabado de mortero de cemento pintado de blanco y ladrillo visto.



Fig. 2. Patio en Casa de La Concha.

Casa-patio en Calle Pompeyos (Fig. 3). Ubicada al norte del centro histórico de la ciudad, la parcela ha sufrido un proceso de transformación debido al loteo de herencias. Ha sido utilizada como espacio de envejecimiento el vino de ahí la existencia de espacios de bodega. El patio de la casa es de planta prácticamente cuadrada, de 7,8 x 8,4 metros, rodeado

por galerías porticadas en tres de sus lados, y una altura de 6,8 metros. El AR resultante es de 0,81 y 0,87 en cada una de las direcciones. Los muros que delimitan el patio presentan un acabado de mortero de cemento pintado de blanco y detalles en color albero.



Fig. 3. Patio en Casa solariega en calle Pompeyos.

Las monitorizaciones llevadas a cabo se han realizado en diferentes periodos para cada uno de los patios. Para el Palacio de La Concha, la monitorización se llevó a cabo entre los días 15 y 20 de junio y para la Casa-Palacio de la calle Pompeyos entre el 10 y el 15 de agosto. En ambos patios se colocó una estación meteorológica modelo PCE-FWS 20 en la cubierta de los edificios para recoger datos de temperatura del aire, humedad y velocidad del viento en el exterior de los patios. En el interior del patio y en el interior de la edificación se colocaron sensores TESTO 174H y TESTO 174T para monitorizar los datos de temperatura del aire y humedad. Estos sensores se colocaron a tres alturas diferentes, con el objetivo de analizar el efecto de estratificación que se debe producir en los patios.

**Resultados**

Las figuras 4 y 5 muestran los resultados registrados en la cubierta y las medias de los sensores en el interior del patio y el interior de los edificios en una selección de los días monitorizados en cada caso. Las temperaturas exteriores en los dos periodos son similares, con temperaturas en un rango de 17°C - 37°C para el periodo de junio y un rango de 21°C - 41°C en agosto, siendo estas últimas ligeramente superiores. Las temperaturas en el interior de la edificación, a pesar de no estar acondicionada en ningún caso, no superan los 30°C. Los valores registrados para la velocidad del viento no superan nunca los 3 km/h, siendo despreciable su influencia en el comportamiento termodinámico de los patios.

En la figura 4 se representan los resultados del patio de la calle Pompeyos. Se observa que, mientras en el exterior se alcanzan temperaturas de hasta 41°C, en el patio no se superan los 35°C ninguno de los días analizados. Durante la noche, el patio presenta un ligero efecto de sobrecalentamiento que hace que la temperatura registrada en el mismo sea entre 1 y 2°C superior a la exterior. La diferencia máxima entre la temperatura del patio y la exterior es de 7,4°C el día 11 de agosto a las 19:30h. Por otro lado, la figura 6

muestra la temperatura monitorizada a diferentes niveles del patio. Se detecta un efecto de estratificación, siendo la temperatura mayor a medida que la altura aumenta, demostrando los efectos descritos en investigaciones previas (Rojas et al., 2012). Este efecto de estratificación es más pronunciado a medida que aumentan las temperaturas exteriores.

Los resultados obtenidos en el patio de La Concha se representan en la figura 5. Se diferencian dos situaciones en el comportamiento del patio, en función de la temperatura exterior. Cuando no se superan los 30°C, la temperatura en el interior del patio es la misma que la exterior. Si se supera esta temperatura, el efecto atemperante del patio entra en juego y nunca se superan los 31°C en el interior del mismo. La diferencia máxima entre el interior del patio y el exterior es de hasta 11°C a las 20h del día 20 de junio. Paralelamente a lo que ocurre en el patio de Calle Pompeyos, existe un ligero sobrecalentamiento por la noche. Por el contrario, el fenómeno de estratificación en el Palacio de La Concha es casi inexistente, posiblemente debido a que se registraron temperaturas exteriores más bajas durante esa monitorización.

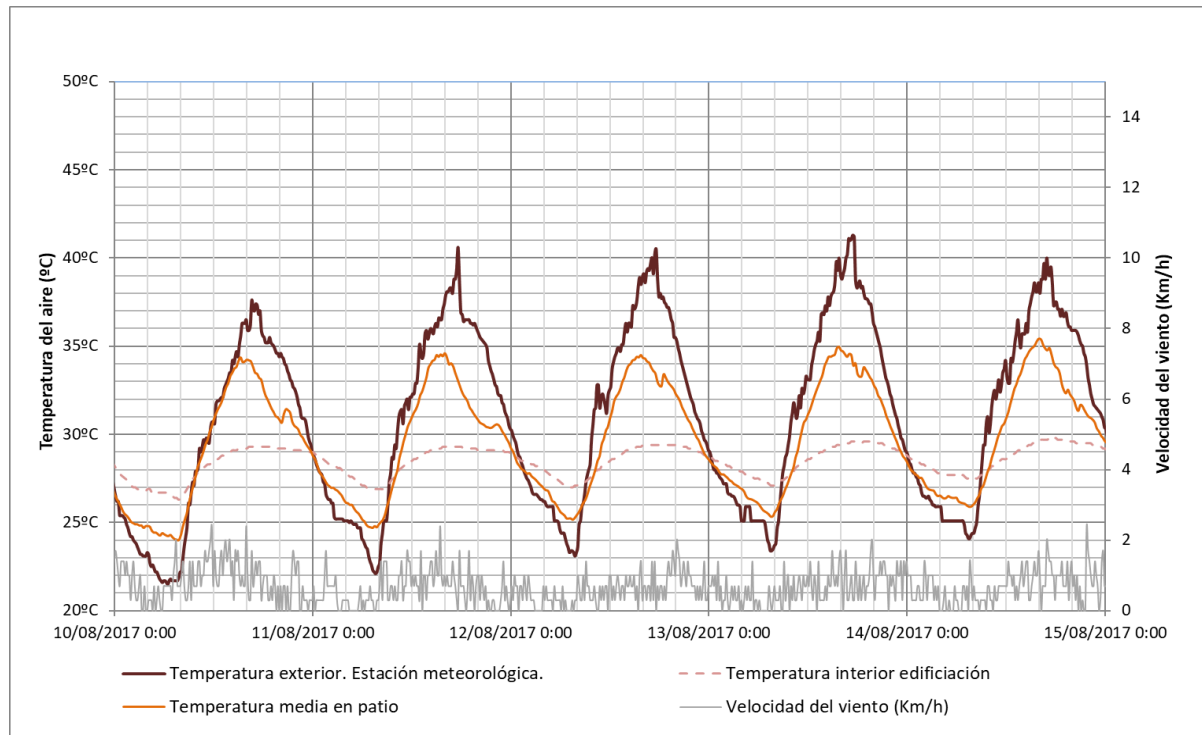
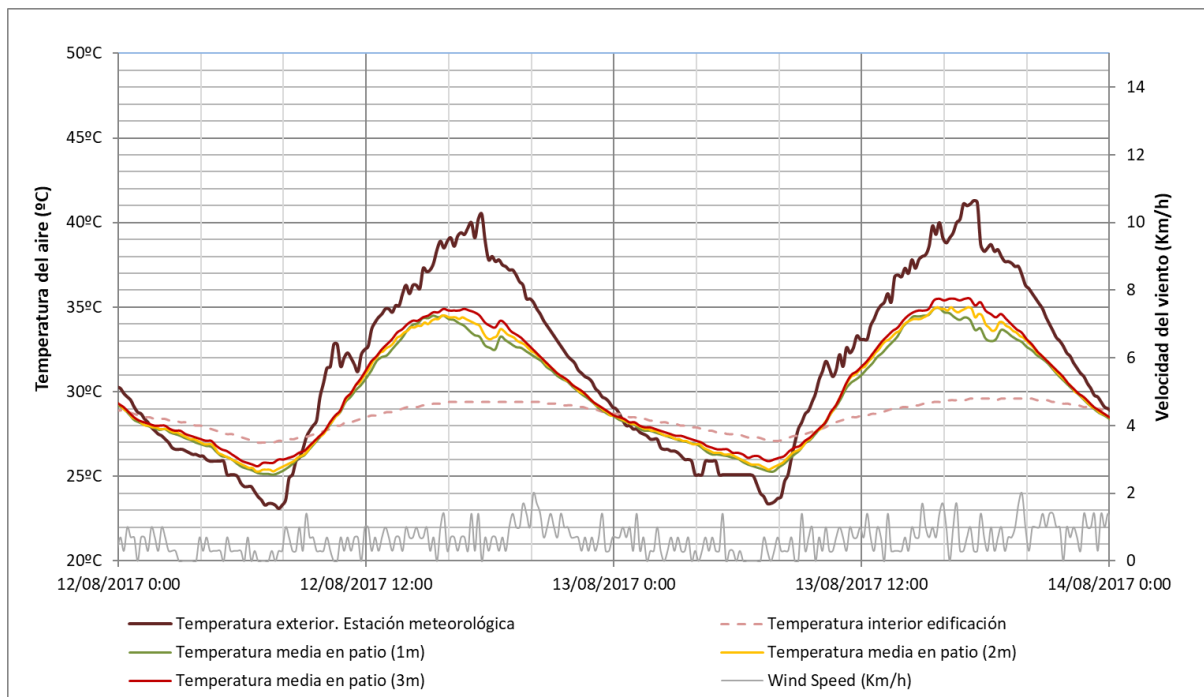
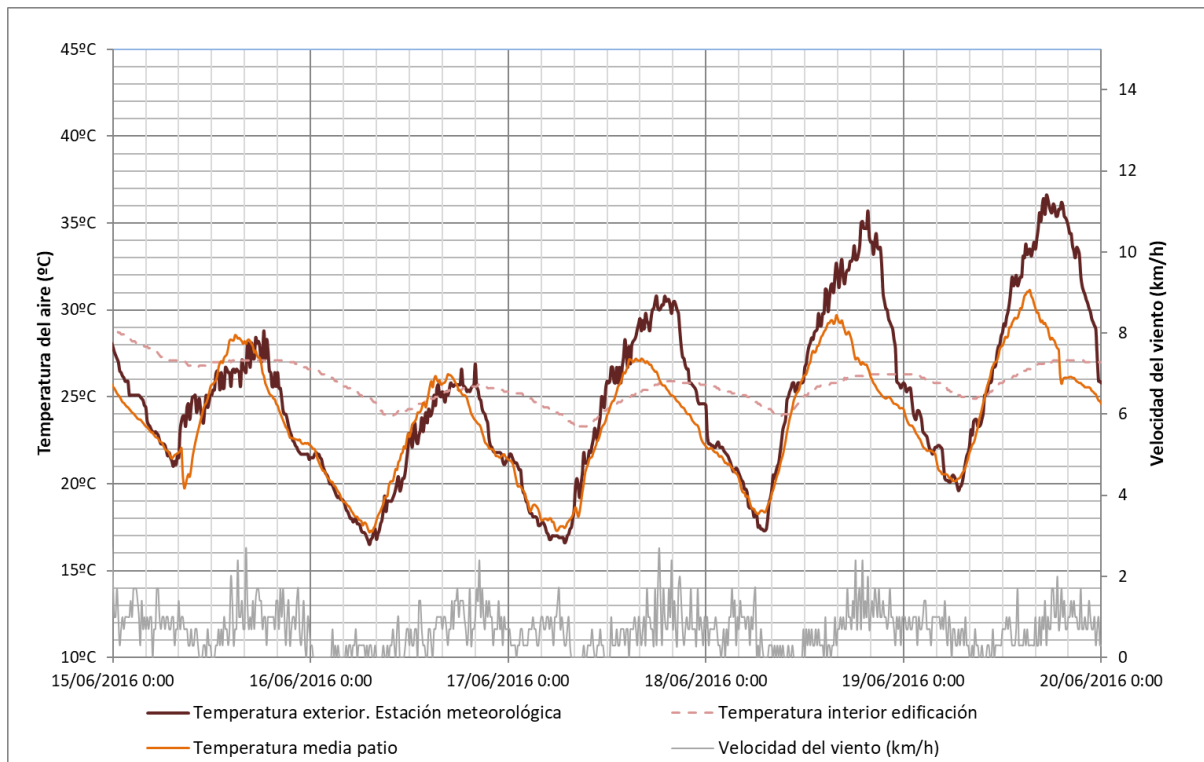


Fig. 4. Temperaturas registradas en el interior y el exterior del patio en Calle Pompeyos en agosto.



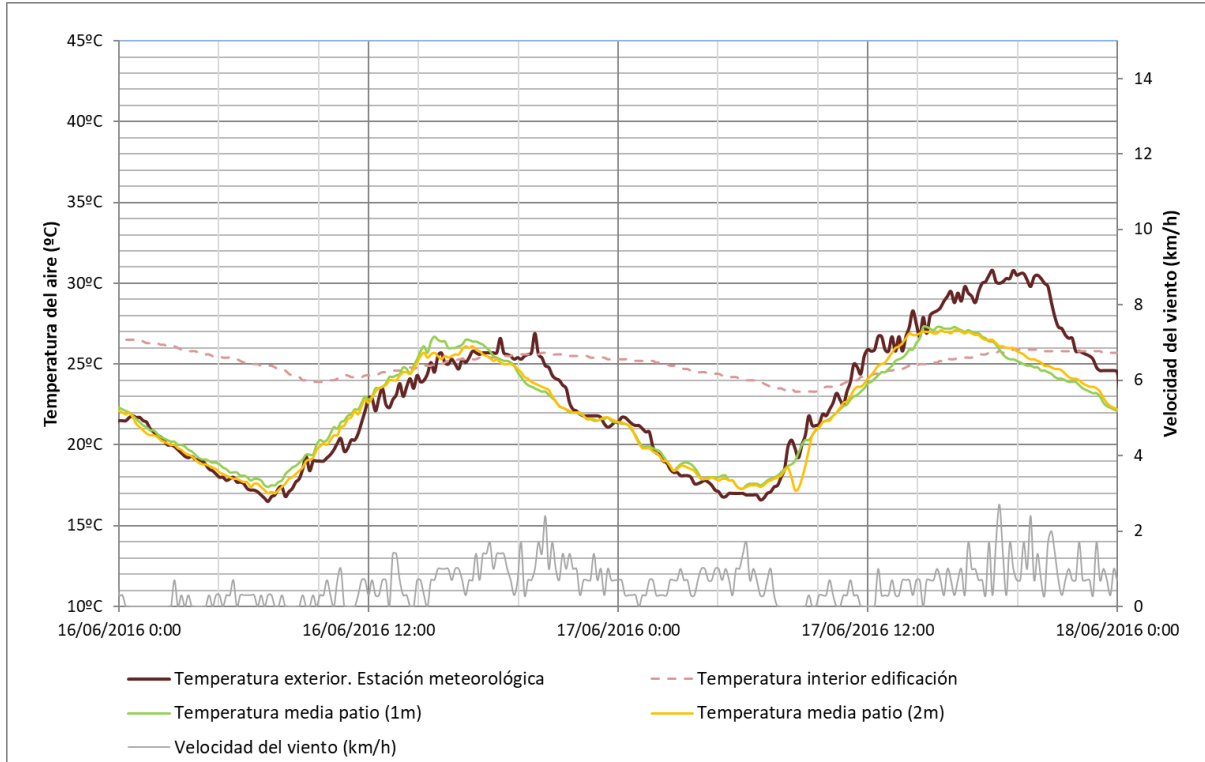


Fig. 7. Temperaturas medias por niveles registradas en el interior y temperatura exterior del patio del Palacio de La Concha en junio.

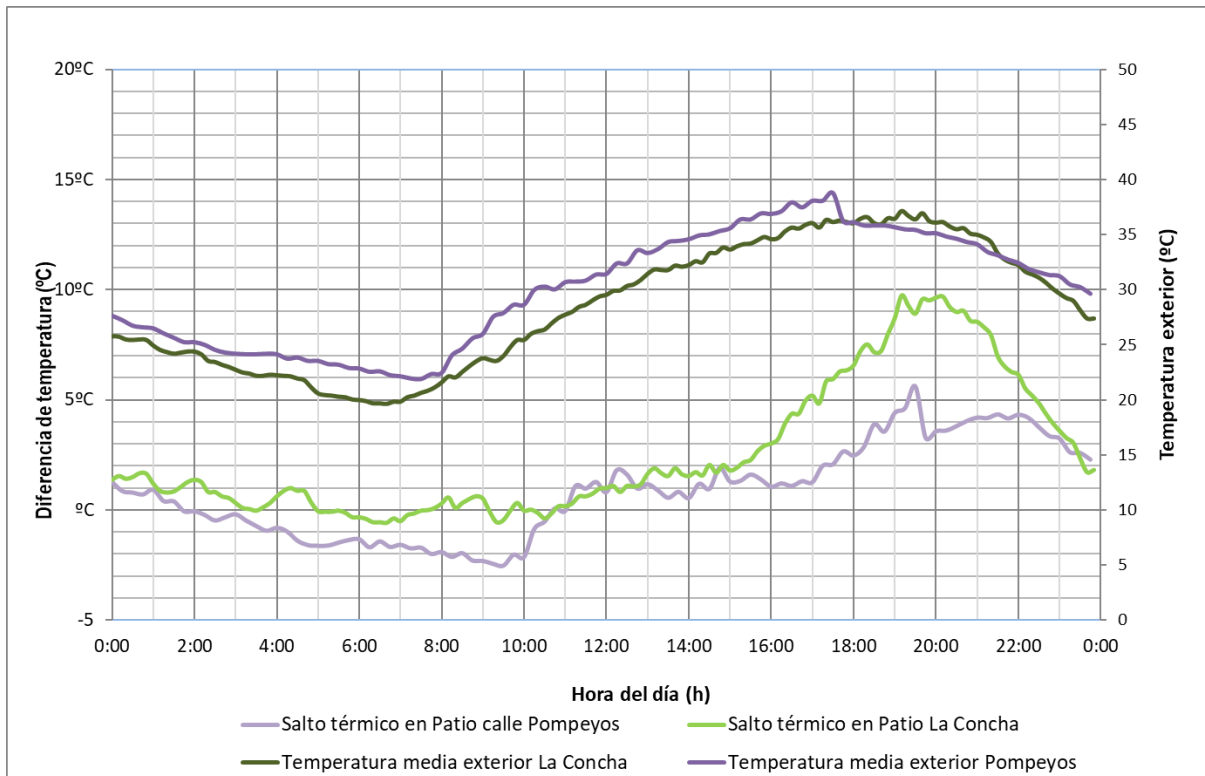


Fig. 8. Salto térmico medio y temperatura exterior media en los días 10-11 de agosto en patio de calle Pompeyos y los días 19-20 de julio en La Concha.

## Discusión

Para tener un valor de la reducción media de la temperatura exterior que es posible alcanzar en el microclima generado en los patios, se muestra en la figura 8 la diferencia de temperatura media alcanzada entre el exterior e interior de los patios en cada hora de dos días con temperaturas exteriores similares para ambos patios. Se observa un patrón de comportamiento similar en ambos patios, si bien en La Concha se llega a una diferencia máxima de casi 10°C mientras que en la calle Pompeyos esta diferencia solo alcanza los 6°C. En cualquier caso, se produce un efecto beneficioso de reducción significativa de las temperaturas máximas en el patio con respecto a las temperaturas exteriores.

Más datos de campañas de monitorización realizadas en el mismo clima en otros edificios han sido publicados ((López-Cabeza, Galán-Marín, Rivera-Gómez, & Roa-Fernández, 2018; Rojas-Fernández et al., 2017; Rojas et al., 2012)), corroborando los resultados obtenidos en el presente estudio. Tal como se desprende de estos estudios, el alcance del efecto beneficioso de los patios dependerá de varios factores como orientación, presencia de vegetación o albedo de las superficies.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran el carácter atemperante de los patios en edificios patrimoniales de la ciudad de Córdoba. A medida que aumenta la temperatura exterior en la ciudad, el efecto de los patios se incrementa, consolidándose como medidas pasivas clave en el ahorro energético de edificios. Saber aprovechar esta ventaja en el reacondicionamiento de edificios históricos es una oportunidad inmejorable de cara al futuro normativo y climático al que nos enfrentamos.

Además, son interesantes otras líneas de investigación acerca de la posibilidad de mejorar este efecto atemperante de los patios mediante la introducción de elementos que se conocen beneficiosos del comportamiento del patio, como son los elementos de sombra o la vegetación y el agua.

En definitiva, el patrimonio arquitectónico Cordobés es heredero de una cultura climática mediterránea que ha sabido aprovechar los elementos de transición como elementos filtro de las condiciones climáticas severas. Recuperar esta tradición arquitectónica como parte del patrimonio cultural supone además el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por el Gobierno de España, proyecto de investigación MTM2015-64577-C2-2-R.

cgalan@us.es

## Bibliografía

- ABDULKAREEM, H. A. (2016). Thermal Comfort through the Microclimates of the Courtyard. A Critical Review of the Middle-eastern Courtyard House as a Climatic Response. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216(October 2015), 662–674. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.12.054>
- CAPITEL, A. (2005). *La arquitectura del patio*. Barcelona: Gustavo Gili.
- COMISIÓN EUROPEA. (2010). Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. *Boletín Oficial*, L135, 13–35.
- CTE. CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. DOCUMENTO BÁSICO HE AHORRO DE ENERGÍA. (n.d.). Retrieved April 16, 2018, from <https://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>
- GHAFFARIANHOSEINI, A., BERARDI, U., & GHAFFARIANHOSEINI, A. (2015). Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Building and Environment*, 87, 154–168. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.02.001>
- HALL, D. J., WALKER, S., & SPANTON, A. M. (1999). Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. *Atmospheric Environment*, 33, 1187–1203. Retrieved from [https://ac.els-cdn.com/S1352231098002842/1-s2.0-S1352231098002842-main.pdf?\\_tid=7e7c7a95-8bda-4803-b12e-8861f38c9061&acdnat=1526296658\\_0b6eaa7b484bfd71dc581e6b4d9531e2](https://ac.els-cdn.com/S1352231098002842/1-s2.0-S1352231098002842-main.pdf?_tid=7e7c7a95-8bda-4803-b12e-8861f38c9061&acdnat=1526296658_0b6eaa7b484bfd71dc581e6b4d9531e2)
- KOTTEK, M., GRIESER, J., BECK, C., RUDOLF, B., & RUBEL, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
- LÓPEZ-CABEZA, V. P., GALÁN-MARÍN, C., RIVERA-GÓMEZ, C., & ROA-FERNÁNDEZ, J. (2018). Courtyard microclimate ENVI-met outputs deviation from the experimental data. *Building and Environment*, 144. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.013>
- ROJAS-FERNÁNDEZ, J., GALÁN-MARÍN, C., ROA-FERNÁNDEZ, J., & RIVERA-GÓMEZ, C. (2017).



- Correlations between GIS-based urban building densification analysis and climate guidelines for Mediterranean courtyards. *Sustainability (Switzerland)*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/su9122255>
- ROJAS, J. M., GALÁN-MARÍN, C., & FERNÁNDEZ-NIETO, E. D. (2012). Parametric study of thermodynamics in the mediterranean courtyard as a tool for the design of eco-efficient buildings. *Energies*, 5(7), 2381–2403. <https://doi.org/10.3390/en5072381>
- TALEGHANI, M., TENPIERIK, M., & VAN DEN DOBBELSTEEN, A. (2012). Environmental impact of courtyards - A review and comparison of residential courtyard buildings design in different climates. *Journal of Green Building*, 7(2), 113–136. <https://doi.org/10.3992/jgb.7.2.113>