

University of Cantabria / University of Extremadura

Organizers:



# REHABEND 2018

## Euro-American Congress

CONSTRUCTION  
PATHOLOGY,  
REHABILITATION  
TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT

Caceres (Spain) - May 15<sup>th</sup>-18<sup>th</sup>, 2018

Sponsor entities:



# **REHABEND 2018**

**CONSTRUCTION PATHOLOGY, REHABILITATION TECHNOLOGY AND  
HERITAGE MANAGEMENT**

*(7<sup>th</sup> REHABEND Congress)*

**Caceres (Spain), May 15<sup>th</sup>-18<sup>th</sup>, 2018**

PERMANENT SECRETARIAT:

**UNIVERSITY OF CANTABRIA**

Civil Engineering School

Department of Structural and Mechanical Engineering

Building Technology R&D Group (GTED-UC)

Avenue Los Castros s/n 39005 SANTANDER (SPAIN)

Tel: +34 942 201 738 (43)

Fax: +34 942 201 747

E-mail: [rehabend@unican.es](mailto:rehabend@unican.es)

[www.rehabend.unican.es](http://www.rehabend.unican.es)

## REHABEND 2018

ORGANIZED BY:



UNIVERSITY OF CANTABRIA (SPAIN)  
[www.unican.es](http://www.unican.es) // [www.gted.unican.es](http://www.gted.unican.es)



UNIVERSITY OF EXTREMADURA (SPAIN)  
[www.unex.es](http://www.unex.es)

CO-ORGANIZERS ENTITIES:



CONFERENCE CHAIRMEN:

**LUIS VILLEGAS**  
**CÉSAR MEDINA**

CONGRESS COORDINATORS:

**IGNACIO LOMBILLO**  
**HAYDEE BLANCO**  
**YOSBEL BOFFILL**  
**MARÍA BEATRIZ MONTALBÁN**  
**AGUSTÍN MATÍAS**

EDITORS:

**LUIS VILLEGAS**  
**IGNACIO LOMBILLO**  
**HAYDEE BLANCO**  
**YOSBEL BOFFILL**

INTERNATIONAL SCIENTIFIC ADVISORY COMMITTEE:

**HUMBERTO VARUM – UNIVERSITY OF AVEIRO (PORTUGAL)**  
**PERE ROCA – TECHNICAL UNIVERSITY OF CATALONIA (SPAIN)**  
**ANTONIO NANNI – UNIVERSITY OF MIAMI (USA)**

The editors does not assume any responsibility for the accuracy, completeness or quality of the information provided by any article published. The information and opinion contained in the publications of are solely those of the individual authors and do not necessarily reflect those of the editors. Therefore, we exclude any claims against the author for the damage caused by use of any kind of the information provided herein, whether incorrect or incomplete.

The appearance of advertisements in this Scientific Publications (Printed Abstracts Proceedings & Digital Book of Articles - REHABEND 2018) is not a warranty, endorsement or approval of any products or services advertised or of their safety. The Editors does not claim any responsibility for any type of injury to persons or property resulting from any ideas or products referred to in the articles or advertisements.

The sole responsibility to obtain the necessary permission to reproduce any copyright material from other sources lies with the authors and the REHABEND 2018 Congress can not be held responsible for any copyright violation by the authors in their article. Any material created and published by REHABEND 2018 Congress is protected by copyright held exclusively by the referred Congress. Any reproduction or utilization of such material and texts in other electronic or printed publications is explicitly subjected to prior approval by REHABEND 2018 Congress.

ISSN: 2386-8198 (printed)

ISBN: 978-84-697-7032-0 (Printed Book of Abstracts)

ISBN: 978-84-697-7033-7 (Digital Book of Articles)

Legal deposit: SA - 132 - 2014

## CODE 427

### **ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL PATIO COMO FACTOR SIGNIFICATIVO DE LA POROSIDAD URBANA EN EL CONTEXTO DE LOS CASCOS HISTÓRICOS**

**Jorge Roa-Fernández<sup>1</sup>; Carmen Galán-Marín<sup>1</sup>; Juan Rojas-Fernández<sup>1</sup>;  
Carlos Rivera-Gómez<sup>1</sup>**

1: Departamento de Construcciones Arquitectónicas 1, Escuela Técnica Superior de Arquitectura,  
Universidad de Sevilla, Avda. Reina Mercedes, 2, Sevilla 41012, España;

1: Grupo PAI TEP 206, Departamento de Construcciones Arquitectónicas I. E.T.S. de Arquitectura.  
Universidad de Sevilla  
e-mail: [cgalan@us.es](mailto:cgalan@us.es), web: <http://www.us.es>

**KEYWORDS:** densificación urbana; SIG; zonificación climática; patio; efecto isla de calor

#### **ABSTRACT**

La presente investigación se centra en los patios mediterráneos, utilizando herramientas SIG y monitorización. El tema de los patios es investigado desde diferentes perspectivas y se coloca en el centro del diseño energéticamente consciente de los edificios para climas mediterráneos. El enfoque varía desde el análisis de la morfología en la arquitectura vernácula, analizando las normativas de obligado cumplimiento en construcción y su relación con el clima, hasta la monitorización detallada de condiciones internas y externas y la integración de otros estudios anteriores sobre patios. Este estudio pretende contribuir al debate científico y al discurso arquitectónico actual sobre el papel de los patios en la arquitectura y su importancia en el contexto de soluciones de diseño sostenible. Plantea la identificación de morfología apropiada para obtener las condiciones térmicas óptimas en el contexto climático de España. Tal conocimiento puede contribuir al diseño energéticamente consciente y así permitir la reducción del consumo de energía para la refrigeración, la principal preocupación en climas cálidos, junto con la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas. Para realizar esa comparación se han utilizado métodos cuantitativos de medición, así como de análisis de la morfología para delimitar los límites espaciales de densificación urbana. Esta metodología ha sido aplicada a un caso real en España, analizando varias ciudades, comprendiendo las zonas climáticas marcadas en el CTE.

#### **1. INTRODUCCIÓN**

De entre todos los sistemas de refrigeración pasiva, el patio es uno de los más efectivos y utilizados, especialmente en climas cálidos. Su comportamiento es favorable para las estaciones tanto de invierno como verano [1], si bien su efecto es más significativo en climas y estaciones cálidas por su capacidad termorreguladora de la edificación. De hecho existe una relación entre la geometría urbana, especialmente en la ordenación y proporción de volúmenes llenos y vacíos, y la distribución de las islas de calor urbano en las ciudades [2]. El fenómeno térmico más significativo en relación con el clima en una ciudad es el llamado efecto de isla de calor urbano (en inglés, UHI). La intensidad de la UHI es la diferencia de temperatura entre un entorno urbano y otro rural, sometidos a las mismas condiciones climáticas. En efecto, las ciudades son más cálidas que las áreas rurales durante la noche debido a la absorción de radiación solar por parte de las superficies pavimentadas y los edificios, así como por la dificultad relativa de evacuar las ganancias térmicas diurnas. Parámetros morfológicos urbanos como la densidad urbanística de un área, la geometría de los edificios y las características topográficas del lugar

influyen en el flujo de aire en las edificaciones y en torno a las mismas, así como en el consumo energético a escala regional [2, 3]. En la misma línea, Jurelionis y Bouris [4] aplicaron una serie de métodos computerizados de dinámica de fluidos para calcular la distribución de la presión superficial en fachadas de edificaciones de tres modelos de ciudad, y dos direcciones de vientos dominantes diferentes. Desde una perspectiva ligeramente diferente, García Nevado et al. analizan el comportamiento solar en intersecciones de cañones urbanos [5].

El efecto UHI en nuestras ciudades es especialmente importante en el actual contexto de cambio climático. Mediciones recientes realizadas en Mánchester muestran una intensidad máxima de la UHI en verano de 8°C [6]. A la vista del efecto negativo de este fenómeno, diversos investigadores han sometido a estudio algunas estrategias de mitigación simulando manzanas individuales o barriadas [7, 8]. Algunos resultados han demostrado la influencia del diseño urbano sobre el microclima de los espacios exteriores [9-11]. De hecho, la densidad urbana juega un papel relevante en el efecto UHI dado que una forma urbana más densa resulta en múltiples reflexiones de energía solar, lo que afecta a la convección del aire [12, 13].

A lo largo de la presente investigación se ha centrado la atención en los patios, es decir, espacios interiores abiertos muy comunes en la arquitectura doméstica española e hispanoamericana. Investigadores que han trabajado anteriormente en este campo han demostrado que los patios presentan unas propiedades de mitigación térmica en climas cálidos como los del Mediterráneo, con un rango de temperaturas hasta 8°C más bajas en el interior de los patios respecto al espacio exterior [14, 15]. Al-Hemiddi et al. concluye que el uso de patios es una estrategia aplicable durante los períodos más cálidos en las regiones desérticas [16]. Cantón et al. han llegado a la conclusión de que este comportamiento de los patios interiores durante la noche funciona debido a la mayor capacidad de refrigeración por convección y radiación de los espacios abiertos [17]. Kutoba et al. consigue identificar las funciones térmicas de los patios interiores de la arquitectura tradicional china [18]. Por otro lado, las estrategias de mitigación del calor urbano que a las que contribuyen y moderan los microclimas de los patios han sido investigadas incluso en climas fríos en el contexto del cambio climático en base a las previsiones para el 2050 [19]. En este sentido, debido a la mitigación térmica calorífica de hasta 8°C, la presencia de patios en las ciudades, su tamaño y características geométricas constituirían una posibilidad para mitigar el efecto de la UHI.

En este punto resulta de interés para el desarrollo de estos estudios la posibilidad de comparar distintos tejidos urbanos. Considerando la cantidad de información necesaria para este análisis, los Sistemas de Información Geográfica (SIG, o GIS en sus siglas en inglés) son una herramienta idónea para esta tarea. Los SIG comprenden sistemas de hardware, software, bases de datos, actores, organizaciones e iniciativas institucionales para la recolección, almacenamiento, análisis y difusión de información cartográfica alrededor del Mundo [24].

El objetivo principal de este estudio consiste en la identificación de una serie de patrones tipológicos en la geometría de los patios en ciudades españolas con distintas severidades climáticas en verano con el objeto de establecer un paralelismo entre clima y forma tradicional del patio. Esta investigación se basa en una serie de estudios empíricos sobre los microclimas registrados en los patios debido a sus características dimensionales [14-18]. La presente investigación pretende establecer una relación entre la dimensión de los patios y sus condiciones climáticas. La presente investigación tiene por objeto contrastar si estos microclimas ligados a los patios tienen una consecuencia y correlación con las tipologías vernáculas de patios en las diferentes zonas climáticas de España. Al contrario que en algunas investigaciones previas [21- 26], a menudo basadas en casos de estudio específicos, este artículo presenta ejemplos de diferentes escalas urbanas que engloban a miles de patios. Los SIG permiten identificar una relación estadística entre la proporción y las características geométricas de los patios, y la zona climática donde se sitúan.

## 2. METODOLOGÍA

La herramienta utilizada para este estudio ha sido QGIS [27] en su versión 2.18, el programa de dominio público líder entre los SIG. QGIS soporta numerosas funciones que implican el procesado de vectores, imágenes y bases de datos de distintos formatos.

En general, existen dos métodos básicos en SIG para realizar análisis superpuestos: Superposición de entidades (polígonos en nuestro caso) y superposición de modelos de información tipo por capas. La superposición de entidades ha sido utilizada durante esta investigación para identificar los polígonos que se ajustaban a ciertos criterios. La recolección de datos fue realizada mediante archivos de vectores tipo capa generados por la Dirección General del Catastro [28], adscrita al Ministerio de Hacienda y Función Pública de España. Estos archivos siguen la Directiva INSPIRE [29] (*Infrastructure for spatial information in Europe*). El cometido de esta Directiva es crear una infraestructura de gestión de la información espacial de la Unión Europea, al servicio de las políticas y regulaciones de la UE que pueden tener un impacto en el medioambiente. Esta infraestructura europea de información espacial permite compartir información espacial entre organizaciones del sector público, facilitando el libre acceso a este tipo de datos a lo largo de Europa, y asesorando a los órganos beneficiarios en la creación de políticas en sus respectivas fronteras.

Un análisis preliminar con SIG ha permitido centrar la atención en la información contenida en las capas CONSTRU y PARCELA de estos archivos. El punto de inicio ha consistido en la definición de los límites del área a analizar, el centro histórico. Los límites entre las calles y los elementos construidos fueron definidos, y las alturas de las diferentes edificaciones fueron puestas en relación con cada uno de ellos.

El procesado de esta información ha permitido calcular el Índice de Porosidad (PI, por sus siglas en inglés) de cada manzana urbana, y el porcentaje de parcelas con patios interiores, tal como se muestra en la Tabla 2. El PI es un parámetro que ofrece una vista general del centro histórico y su grado de perforación, como relación entre sólido y vacío en el área de estudio. Un PI más alto representa una mayor cantidad de vacíos, es decir, una parcela vacía tiene un valor de porosidad de 100, mientras que un valor 0 corresponde a una parcela completamente densa y sin patios. El Índice de Porosidad Neta (NPI) ha sido calculado considerando únicamente las parcelas urbanas que contenían un patio. Todos los espacios públicos como son las calles, plazas, etc. no han sido consideradas, únicamente e, interior de la parcela construida tanto para el PI y el NPI.

De los estudios estadísticos realizados en base al análisis de los cascos históricos de las ciudades se observó que las áreas más representativas estaban en los rangos de entre 5-15 y 15 y 30m<sup>2</sup>. Del mismo modo, la altura media de las construcciones en torno al patio ha sido determinada, revelando que la tendencia de los patios históricos de poseer dimensiones cuadradas permite determinar fácilmente su amplitud. Esta simplificación es utilizada para calcular el Aspect Ratio (AR) del patio. El AR es la correlación entre la altura y la amplitud de los patios interiores, tal como lo describe Hall [30]:

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

Donde  $h_{max}$ = altura máxima del patio interior, y  $W$ = anchura del patio interior (los patios se consideraron cuadrados en el presente estudio).

En la literatura específica existen varios estudios que relacionan AR con el flujo de calor en entornos urbanos [31] y con la heterogeneidad del albedo en las ciudades [32].

### 3. CASO DE ESTUDIO

Las condiciones meteorológicas y climáticas de las ciudades constituyen una cuestión de relevancia para el diseño urbano, dado que afectan al confort térmico humano en espacios exteriores e interiores, influenciando la apreciación y el uso de los espacios abiertos, e indirectamente, el consumo energético de los edificios en cuanto a calefacción, refrigeración y ventilación. Estas cuestiones se reflejan en las ordenanzas y regulaciones urbanas y constructivas acometidas por las administraciones públicas de los diferentes países.

#### 3.1 Normativa Española

En el presente estudio se analizan la distribución y tamaño de una serie de patios en diferentes ciudades de la geografía española. Esta investigación aspira a establecer una relación entre las características geométricas de los patios y las diferentes zonas climáticas. Para determinar las diferentes zonas climáticas es necesario obtener los parámetros de “severidad climática de invierno” (WCS por sus siglas en inglés, correspondientes a Winter Climatic Severity) y “severidad climática de verano” (SCS,

Summer Climatic Severity). Estos valores son calculados para cada localización mediante un rango estadístico medio de temperaturas durante los meses de invierno y verano, respectivamente. Si se producen temperaturas excesivamente bajas o altas, se produce una demanda energética adicional para calefacción o refrigeración. El WCS viene dado por una escala de la A a la E en orden ascendente (Figura 3a), mientras que el SCS se da en un rango de 1 a 4 donde 1 es el valor menor. De acuerdo a estos estándares, la Tabla 1 muestra una serie de columnas que se corresponden a todas las clasificaciones de invierno, agrupándose los rangos de severidad climática de verano en varias clases.

Para limitar la demanda energética, las normativas españolas [33] establecen distintas zonas climáticas identificadas por letras, correspondientes a las divisiones de invierno, y un número que se corresponde con las divisiones de verano. De esta forma, se establecen doce zonas climáticas de acuerdo con las siguientes imágenes y la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de las zonas climáticas en España, de acuerdo con la normativa estatal [33].

|                 |                |    |    |    |    |  |
|-----------------|----------------|----|----|----|----|--|
| SCS<br>(Verano) | A4             | B4 | C4 |    | E1 |  |
|                 | A3             | B3 | C3 | D3 |    |  |
|                 |                |    | C2 | D2 |    |  |
|                 |                |    | C1 | D1 |    |  |
|                 | WCS (Invierno) |    |    |    |    |  |

### 3.2 Ciudades Estudiadas

Para realizar un estudio lo suficientemente representativo de la variedad tipológica de estructuras urbanas, se seleccionaron siete ciudades de entre las doce zonas climáticas mencionadas anteriormente. El estudio se centra en la relación entre la tipología de patio y las zonas climáticas, partiendo de la hipótesis de que se da en ellas una adaptación de las soluciones tipológicas a las posibilidades microclimáticas de los patios en las distintas localizaciones.

Las ciudades seleccionadas (Figura 3b) han sido: Málaga (A3), Sevilla (B4), Toledo (C4), Santiago (C1), Zaragoza (D3) y Burgos (E1). Estas ciudades se ordenan según su WCS, siendo Málaga la ciudad con el rango de temperaturas más cálidas, y Burgos la que alcanza las más bajas. Sin embargo, observando el SCS, podemos apreciar que Sevilla, Córdoba y Toledo presentan severidades climáticas de verano más altas en comparación con Málaga y Zaragoza, siendo Santiago y Burgos las ciudades de temperaturas más bajas durante los meses estivales.

La selección incluye ciudades en las zonas climáticas más extremas (A3-E1) y el análisis fue repetido en las ciudades con configuraciones urbanas diferentes, pero con una zona climática similar con el fin de corroborar la relación directa entre la geometría de los patios interiores y el clima de la ciudad, como en los casos de Sevilla y Córdoba, ambos en zona B4. Para el desarrollo del estudio se analizó la distribución del parcelario en las zonas más antiguas del centro histórico de las ciudades listadas, con el fin de evitar las áreas de nueva construcción donde la normativa urbanística actual ha propiciado la aparición de geometrías de patio estándares.

## 4. RESULTADOS

Al analizar las ciudades mencionadas anteriormente, los centros históricos fueron delimitados como muestra representativa de la arquitectura vernácula del lugar. La Tabla 2 muestra los porcentajes de patios hallados en las siete zonas climáticas analizadas, y el número total de patios de cada ciudad presentes en sus centros históricos. Cabe señalar que los planos de las ciudades no son representados a la misma escala, sino en función del tamaño global de la ciudad. Estos planos permiten calcular el índice de porosidad de cada ciudad y el porcentaje de parcelas con patios, tal como se ha desglosado en la Tabla 2. A pesar del hecho de que debido a sus diferentes escalas encontramos ciudades de entre 919 parcelas urbanas en Burgos, a 8.139 en el caso de Sevilla, estos tamaños diferentes permiten elaborar un cálculo más objetivo de la porosidad neta de la ciudad.

El Índice de Porosidad Neta (NPI) proporciona un valor orientativo de la relación entre las parcelas y sus patios. Santiago por ejemplo presenta un número muy reducido de patios interiores (sólo el 41% de

las parcelas). Sin embargo, su tamaño es mayor (NPI = 28). Por otra parte, el 82% de las parcelas en Córdoba incluyen patios (la mayor proporción), lo que muestra por otra parte una porosidad como la de Zaragoza por ejemplo; a pesar del número más elevado de patios por parcela, presentan una superficie menor.

De acuerdo con la Tabla 2, el número total de parcelas con patios y el porcentaje total de ellos muestra hasta qué punto la cultura de los patios está enraizada en algunas ciudades, principalmente debido a su tradición mediterránea. Sevilla y Córdoba sobrepasan las 6.000 y las 3.700 parcelas con patios, respectivamente.

Tabla 2. Índice de porosidad (PI, NPI) y porcentaje de parcelas con patio de cada ciudad analizada.

|                |                            | BU    | CO     | MA    | SE     | SA    | TO    | ZA     |
|----------------|----------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|
| Unidades       | Parcelas urbanas           | 919   | 4625   | 2900  | 8139   | 1397  | 2542  | 2849   |
| Unidades       | Parcelas con patio         | 560   | 3790   | 1470  | 6263   | 575   | 1649  | 2164   |
| %              | Porcentaje                 | 61    | 82     | 51    | 77     | 41    | 65    | 76     |
| m <sup>2</sup> | Superficie total de patios | 43028 | 267956 | 89308 | 384504 | 56077 | 87632 | 200522 |
| %              | PI                         | 10    | 15     | 5     | 12     | 11    | 10    | 14     |
| %              | NPI                        | 17    | 19     | 11    | 16     | 28    | 15    | 18     |

A la inversa, el número de patios en Toledo, Zaragoza y Málaga es menor, entre 1.470-2.164, y finalmente, alrededor de 500 en Burgos y Santiago. Por otra parte, el índice de porosidad permanece entre el 10-15% para todas las ciudades a excepción de Málaga, lo que indica que a pesar de tener menos parcelas con patios, la proporción entre espacios construidos y no construidos permanece constante.

Las ciudades se clasifican en dos grupos diferentes: aquellas ciudades con un parcelario de baja altura y valores reducidos de AR, y aquellas con parcelario de mayor altura y valores altos de AR. Las diferentes alturas responden a distintas concepciones urbanas, así, ciudades con una cultura más cercana a la tradición de patios romanos y árabes han mantenido una menor altura de edificación, manteniendo cierto equilibrio con la superficie de los patios (más numerosos y dispersos), en búsqueda de un valor eficiente de Aspect Ratio (AR: 2.00-2.60-2.80). Esto ocurre en las ciudades de Sevilla, Toledo y Córdoba, con alturas en torno a 3 plantas. Por el contrario, Burgos y Zaragoza presentan una altura media por encima de las 5 plantas por varias razones. Zaragoza se enmarca en una corriente urbanística moderna que se refleja en dos tipos de patio muy bien definidos: el patio de ventilación de dimensiones reducidas y profundidad considerable (AR: 5.30); y el patio de mayor tamaño (15-30 m<sup>2</sup>), consecuentemente enmarcado por una altura edificatoria elevada (AR: 2.30, equilibrado en patios interiores grandes). En el caso de Burgos (con un centro histórico de trazado medieval), ambos tipos de patio mantienen alturas considerables y una superficie reducida (AR por encima de 4.50 en ambos casos).

## 5. DISCUSIÓN

La Tabla 3 muestra un listado de datos obtenidos de cada ciudad. En relación con el número total de patios interiores en el centro histórico de cada ciudad, los datos confirman que las ciudades con un valor de SCS más alto (Córdoba, Sevilla y Toledo) son las que presentan un mayor número de patios (entre 2.805-13.539). Zaragoza supone una excepción debido a la reconfiguración urbanística moderna de su centro histórico, con un conjunto histórico compuesto ampliamente por edificios con pequeños patios interiores de servicio en edificios residenciales plurifamiliares de 4 a 5 plantas. Burgos y Santiago se encuentran en el caso contrario, con un SCS mínimo y un número mucho menor de patios (897-929). Málaga, con un valor intermedio de SCS también presenta un número intermedio de patios (2.998). El área estándar, tal como se muestra en la Tabla 7, es el área de patio más representativa en cada ciudad, siendo entre 7-9 m<sup>2</sup> la más típica a excepción del caso de Zaragoza, que tal como se mencionaba anteriormente, corresponde a un caso de urbanismo moderno. A pesar de ello, los patios se clasifican básicamente según los rangos de áreas más comunes: 5-15 y 15-30 m<sup>2</sup>. En lo que respecta al área de los

patios de luces interiores, en todas las ciudades estudiadas las áreas más comunes están torno a los 7-11.25 m<sup>2</sup>. Las ciudades con climas más cálidos como Córdoba y Sevilla presentan patios de este tipo con dimensiones similares (9.00 m<sup>2</sup>). En el resto de ciudades se observan diferencias significativas. Burgos, localizada en el área climática más fría, presenta módulos de patios interiores de luces menores (8 m<sup>2</sup>), algo mayores que los de Toledo, de alrededor de 7 m<sup>2</sup>. En el caso de Zaragoza, el módulo es de alrededor de 11.25 m<sup>2</sup>, un diferencia acusada respecto al resto de ciudades, basada en el desarrollo urbano de esta ciudad.

Tabla 3. Desglose de los datos principales obtenidos a partir del análisis de las diferentes ciudades.

|                      |                       | BU   | CO   | MA   | SE    | SA   | TO   | ZA    |
|----------------------|-----------------------|------|------|------|-------|------|------|-------|
| <b>UNID.</b>         | Nº de PATIOS          | 897  | 8114 | 2998 | 13539 | 929  | 2805 | 4235  |
| <b>m<sup>2</sup></b> | Área estándar         | 8    | 9    | 9    | 9,5   | 9    | 7    | 11,25 |
| <b>Tamaño</b>        | 5 - 15 m <sup>2</sup> |      |      |      |       |      |      |       |
|                      | Nº de PATIOS          | 338  | 3621 | 942  | 6108  | 312  | 1271 | 1620  |
|                      | Nº de plantas         | 5.24 | 3.12 | 4.37 | 3.25  | 4.00 | 3.03 | 5.22  |
| <b>h/w</b>           | AR                    | 4.7  | 2.0  | 3.8  | 2.8   | 3.0  | 2.6  | 5.1   |
| <b>Tamaño</b>        | 15 -30 m <sup>2</sup> |      |      |      |       |      |      |       |
|                      | Nº de PATIOS          | 213  | 1817 | 654  | 2235  | 193  | 553  | 1009  |
|                      | Nº de plantas         | 5.30 | 2.88 | 4.68 | 2.99  | 3.06 | 2.97 | 3.94  |
| <b>h/w</b>           | AR                    | 4.6  | 1.2  | 2.9  | 2.3   | 1.9  | 1.2  | 2.3   |

En lo que respecta a la relación entre el AR y la zona climática, en el segmento más bajo (área de patio de 5-15 m<sup>2</sup>), los valores más bajos de AR corresponden a las ciudades con un valor de SCS mayor (Córdoba, Sevilla y Toledo). Este resultado es coherente si se considera el tamaño de los patios (7-9 m<sup>2</sup>) en relación con el número de plantas (3.03-3.25). este resultado confirmaría que estos patios interiores de luces son concebidos como áreas de ventilación y tamizado de la luz reales. Un valor más alto de AR es frecuente en casos de valores de SCS intermedios (Málaga y Zaragoza). Sin embargo, en el caso de Málaga, el tamaño de los patios no es el mismo (9 m<sup>2</sup>) con un sensible incremento de su altura (4.37 plantas). Esto podría ser indicativo de un modelo de patio entre el patio interior mediterráneo tradicional y el patio de luces de servicio encontrado en Zaragoza. Este mismo patio de servicio también se da en Burgos, y en menor proporción en Santiago, debido a las restricciones urbanísticas que limitan la altura de las edificaciones en el centro histórico de la ciudad por razones patrimoniales (centro declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO).

Para tamaños entre 15 y 30 m<sup>2</sup>, dado que este área corresponde a unidades plurifamiliares, la necesidad de ventilación e iluminación en los diferentes apartamentos prevalece sobre la necesidad de disponer sistemas de enfriamiento pasivo. A pesar de ello, valores más bajos de AR (1.2-1.9) también corresponden a ciudades con CSC más altos. Málaga y Zaragoza poseen un AR intermedio que se ajusta a su nivel de SCS. Burgos presenta el AR mayor (4.6) y el SCS menor. Y Santiago permanece al margen de esta norma debido a las condiciones urbanísticas antes mencionadas.

## 6. CONCLUSIONES

Dados los objetivos iniciales de la presente investigación, tras el análisis realizado en los cascos históricos de estas siete ciudades españolas, se puede concluir que, más allá de la uniformidad tipológica establecida en base a las ordenanzas edificatorias actuales, es posible establecer una relación clara entre las características geométricas de los patios y las zonas climáticas donde se localizan las ciudades analizadas. Es por ello que este estudio pretende enfatizar sobre la relación entre la arquitectura tradicional y el entorno local, poniendo en relieve la influencia de la arquitectura y geometría de los patios como moduladores de algunas características de los microclimas internos de las edificaciones,

dado que ciertas formas conllevan diferentes consecuencias energéticas en éstas, en función del contexto climático.

En lo concerniente al AR para el mismo tamaño de patio en las ciudades estudiadas, se pueden observar diferencias significativas en los patios entre 5-15 m<sup>2</sup>, los más comunes en viviendas. Para todas las ciudades situadas en climas cálidos con condiciones de verano más severas (Córdoba, Sevilla y Toledo), el AR está entre 2-2.8, mientras que éste aumenta hasta 4.7-5.1 en climas más fríos (Burgos y Zaragoza), dando lugar a la aparición de patios más estrechos. En el caso de los patios más grandes entre los 15-30 m<sup>2</sup>, en todas las ciudades localizadas en zonas climáticas cálidas y de temperaturas intermedias (Córdoba, Málaga, Sevilla, Santiago y Toledo) el AR ofrece valores entre 1.2 y 2.9; en climas más fríos como el de Burgos éste asciende a 4.6.

Los resultados de esta investigación muestran claramente la predominancia de patios en ciudades con climas más cálidos; así, en ciudades en la zona climática B4 como el caso de Córdoba, tanto el PI como el porcentaje de parcelas con patios (15% y 82% respectivamente) son los más altos. No obstante, el NPI indica que en las ciudades estudiadas situadas en climas más fríos como Santiago (valor del 28%), los patios –si existen- son mucho mayores que en climas más cálidos, donde ocupan una proporción mucho mayor de las parcelas en las que se encuentran. Éstos son normalmente patios traseros en lugar de los patios interiores propuestos. Esta ciudad refleja asimismo el menor porcentaje de parcelas con patio interior (41%).

En todas las ciudades analizadas se ha observado un pequeño porcentaje de patios mayores de 30 m<sup>2</sup>. Éstos son más comunes en climas fríos, dado que su finalidad es obtener una mayor ganancia calorífica a través de la radiación solar [24], lo que por otra parte no resulta tan adecuado para el clima en España, en términos generales.

Las propiedades atemperantes de los patios interiores han sido demostradas anteriormente por diferentes autores en estos climas cálidos [14-19, 34]. Se ha demostrado además en este artículo la consecuente relación entre los valores de AR y los tamaños de los patios en estas ciudades de climas cálidos analizadas, dependiendo de su clima específico. Como conclusión cabe afirmar que el vínculo entre la estructura urbana vernácula de los patios y las diferentes condiciones climáticas de las ciudades estudiadas remarca la importancia de tener en consideración ciertas estrategias de diseño, como la morfología del edificio, para poder equilibrar el efecto negativo de la Isla de Calor Urbana (UHI).

## 7. BIBLIOGRAFÍA

[1] Martinelli, L., & Matzarakis, A., Influence of height/width proportions on the thermal comfort of courtyard typology for Italian climate zones. *Sustainable Cities and Society* 29 97-106. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scs.2016.12.004>

[2] Srebric, J.; Heidarinejad, M.; Liu, J. Building neighborhood emerging properties and their impacts on multi-scale modeling of building energy and airflows. *Build Env.* 2015, 91, 246–262.

[3] Jurelionis, A. and Bouris, D. G. Impact of Urban Morphology on Infiltration-Induced Building Energy Consumption. *Energies* 2016, 9, 177; doi:10.3390/en9030177.

[4] Rasheed, A.; Robinson, D.; Clappier, A.; Narayanan, C.; Lakehal, D. Representing complex urban geometries in mesoscale modeling. *Int.J. Climatol.* 2011, 31, 289–301.

[5] Garcia-Nevado, E. Pages-Ramon, A. and Coch, H. Solar Access Assessment in Dense Urban Environments: The Effect of Intersections in an Urban Canyon. *Energies* 2016, 9, 796; doi:10.3390/en9100796.

[6] Levermore, G., The increasing trend of the urban heat island intensity, *Urban Climate* (2017), <http://dx.doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.004>.

[7] Sailor, D.J. A holistic view of the effects of urban heat island mitigation. In *Low Carbon Cities: Transforming Urban Systems*; Routledge: New York, NY, USA, 2014; pp. 270–281.

- [8] Tam, B.Y.; Gough, W.A.; Mohsin, T. The impact of urbanization and the urban heat island effect on day to day temperature. *Urban Clim.* 2015, 12, 1–10.
- [9] Taleghani, M.; Kleerekoper, L.; Tenpierik, M.; van den Dobbelsteen, A. Outdoor thermal comfort within five different urban forms in The Netherlands. *Build. Environ.* 2015, 83, 65–78.
- [10] Krayenhoff, E.S.; Martilli, A.; Bass, B.; Stull, R. Mesoscale simulation of urban heat mitigation strategies in Toronto, Canada. In *Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz, Poland, 1–5 September 2003.
- [11] Yang, X.; Zhao, L.; Bruse, M.; Meng, Q. Evaluation of a microclimate model for predicting the thermal behavior of different ground surfaces. *Build. Environ.* 2013, 60, 93–104.
- [12] Ghaffarianhoseini, A.; Berardi, U.; Ghaffarianhoseini, A. Thermal performance characteristics of unshaded courtyards in hot and humid climates. *Build. Environ.* 2015, 87, 154–168.
- [13] Britter, R.E.; Hanna, S.R. Flow and dispersion in urban areas. *Annu. Rev. Fluid Mech.* 2003, 35, 469–496.
- [14] Rojas, J. M. Galán-Marín, C. and Fernández-Nieto, E. D. Parametric Study of Thermodynamics in the Mediterranean Courtyard as a Tool for the Design of Eco-Efficient Buildings. *Energies*, 5, 2381-2403. 2012; doi:10.3390/en5072381.
- [15] Coronel, J. F. and Alvarez, S. Experimental work and analysis of confined urban spaces. *Solar Energy* Vol. 70, No. 3, pp. 263–273, 2001.
- [16] Al-Hemiddi, N. A. and Al-Saud, K. A. M. The effect of a ventilated interior courtyard on the thermal performance of a house in a hot–arid region. *Renewable Energy* 24 (2001) 581–595.
- [17] Cantón, M. A. Ganem, C. Barea, G. Fernández Llano, J. Courtyards as a passive strategy in semi dry areas. Assessment of summer energy and thermal conditions in a refurbished school building. *Renewable Energy* 69 (2014) 437e446.
- [18] Kubota, T. Zakaria, M.A. Abe, S. Hooi, D. Toe C. Thermal functions of internal courtyards in traditional Chinese shophouses in the hot-humid climate of Malaysia. *Building and Environment* 112 (2017) 115e131.
- [19] Taleghani, M. Tenpierik, A. van den Dobbelsteen, D. J. Sailor. Heat in courtyards: A validated and calibrated parametric study of heat mitigation strategies for urban courtyards in the Netherlands. *Solar Energy* 103 (2014) 108–124.
- [20] Chrisman, N. R. What Does 'GIS' Mean? *Transactions in GIS*, 1999, 3(2): 175-186. 1999.
- [21] De Luis, F. Pérez-García, M. Parametric study of solar gains in saw-tooth roofs facing the equator. *Renew. Energy* 2004, 29, 1223–1241.
- [22] Muhaisen, A.S.; Gadi, M.B. Mathematical model for calculating the shaded and sunlit areas in a circular courtyard geometry. *Build. Environ.* 2005, 40, 1619–1625.
- [23] Muhaisen, A.S.; Gadi, M.B. Effect of courtyard proportions on solar heat gain and energy requirement in the temperate climate of rome. *Build. Environ.* 2006, 41, 245–253.
- [24] Muhaisen, A.S.; Gadi, M.B. Shading performance of polygonal courtyard forms. *Build. Environ.* 2006, 41, 1050–1059.

- [25] Muhaisen, A.S. Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions. *Build. Environ.* 2006,41, 1731–1741.
- [26] Tofigh Tabesh and Begum Sertyesilisik. An Investigation into Energy Performance with the Integrated Usage of a Courtyard and Atrium. *Buildings* 2016, 6, 21; doi:10.3390/buildings6020021
- [27] QGIS 2.18 <http://www.qgis.org/en/site/> (last accessed 14/05/2017).
- [28] <http://www.catastro.minhap.gob.es/webinspire/index.html> (last accessed 14/05/2017).
- [29] Directive 2007/2/EC of The European Parliament and of The Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE) <http://inspire.ec.europa.eu/legislation-details/directive-20072ec-european-parliament-and-council> (last accessed 14/06/2017).
- [30] Hall, D.J., Walker, S. & Spanton, a. M. Dispersion from courtyards and other enclosed spaces. *Atmospheric Environment*, 33(8), pp.1187–1203. 1999.
- [31] Marciotto, E.R. Oliveira, A.P. and Hanna, S.R. Modeling study of the aspect ratio influence on urban canopy energy fluxes with a modified wall-canyon energy budget scheme. *Building and Environment* 45, 2497- 2505. 2010.
- [32] Yang, X., Li, Y. The impact of building density and building height heterogeneity on average urban albedo and street surface temperature. *Building and Environment* 90. 146- 156. 2015.
- [33] Código Técnico de la Edificación. CTE. Documento básico de ahorro de energía. Available on Web. [http://161.111.13.202/apache2-default/cte/CTE\\_DB-HE.pdf](http://161.111.13.202/apache2-default/cte/CTE_DB-HE.pdf) (Last accessed June 2017).
- [34] Rojas-Fernández, J.M.; Galán-Marín, C., Fernández-Nieto, E. Microclimatic conditions of internal courtyards in warm climates and their influence in eco-efficient construction. *Proceedings of PLEA 17 Edinburgh: Passive and Low Energy Architecture, Design to Drive.* 2017. 649-657.