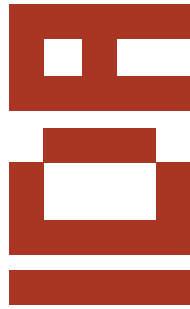


SEVILLA

IDA

**IDA: ADVANCED
DOCTORAL RESEARCH
IN ARCHITECTURE**

SEVILLA



**IDA: ADVANCED
DOCTORAL RESEARCH
IN ARCHITECTURE**

Antonio Tejedor Cabrera, Marta Molina Huelva (comp.)

IDA: Advanced Doctoral Research in Architecture
Sevilla: Universidad de Sevilla, 2017.

1.408 pp. 21 x 29,7 cm

ISBN: 38765987928376375

Legal Dep.: 236235768336

All right reserved. No part of this book may be reproduced stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or any means without prior written permission from the Publisher.

EDITOR

Universidad de Sevilla

COMPILERS

Antonio Tejedor Cabrera

Marta Molina Huelva

DESIGN AND LAYOUT BY

Pablo Blázquez Jesús

María Carrascal Pérez

Daniel Longa García

Marina López Sánchez

Francisco Javier Navarro de Pablos

Gabriel Velasco Blanco

ADMINISTRATION AND SERVICES STAFF

Adoración Gavira Iglesias

Seville, november 2017

© 2017. IDA: ADVANCED DOCTORAL RESEARCH IN ARCHITECTURE

SEVILLA

IDE

ORGANIZED BY



COLLABORATORS



Consejo Andaluz
de Colegios Oficiales
de Arquitectos



fundación **arquia**

All manuscripts have been submitted to blind peer review, all content in this publication has been strictly selected, the international scientific committee that participates in the selection of the works is of international character and of recognized prestige, an scrupulous method of content filtering has been followed in terms of its veracity, scientific definition and plot quality.

COMMITTEES

CONFERENCE CHAIRPERSONS

Antonio Tejedor Cabrera, *Coordinator of the PhD Program in Architecture and Director of the University Institute of Architecture and Construction Sciences, Professor Department of Architectural Design, University of Seville*

Marta Molina Huelva, *Secretary of the University Institute of Architecture and Construction Sciences, Professor of the Department of Building Structures and Geotechnical Engineering, University of Seville*

ORGANISING COMMITTEE

María Carrascal Pérez, *Department of History, Theory and Architectural Composition, University of Seville*

Mercedes Linares Gómez del Pulgar, *Department of Architectural Graphic Expression, University of Seville*

Ángel Martínez García-Posada, *Department of Architectural Design, University of Seville*

Pilar Mercader Moyano, *Department of Architectural Constructions I, University of Seville*

Domingo Sánchez Fuentes, *Department of Urban Planning and Spatial Planning, University of Seville*

Manuel Vázquez Boza, *Department of Building Structures and Land Engineering, University of Seville*

CONFERENCE SECRETARY

Pablo Blázquez Jesús, *Ph.D. student, Department of Architectural Design, University of Seville*

Marina López Sánchez, *Ph.D. student, Department of Architectural Design, University of Seville*

FORMATO

Mesas temáticas

Las mesas temáticas son lugares de presentación de las metodologías y las experiencias de jóvenes doctores y de estudiantes de doctorado procedentes de las diferentes universidades. Son gestionadas por los propios estudiantes de doctorado que generan unas conclusiones para ser debatidas y reelaboradas en la sesión plenaria final. Las sesiones se desarrollan de manera simultánea con la presentación de los *papers* seleccionados en la *call*, organizados en cuatro áreas o líneas temáticas:

1. Tecnologías de la Arquitectura
2. Vivienda, Ciudad y Territorio
3. Patrimonio y Rehabilitación
4. Análisis y Proyectos Avanzados

Taller

El workshop del Congreso se orienta hacia el análisis de los problemas y las necesidades de gestión de los Programas de Doctorado con el fin de extraer conclusiones que pueden ser útiles a las Universidades implicadas. En el workshop participan los coordinadores de los programas de Doctorado en Arquitectura y los representantes de los doctorandos. Son temas de debate: las líneas de investigación, las metodologías, las necesidades organizativas de los programas de doctorado, el Doctorado Internacional y el Doctorado Industrial, y el futuro de la investigación doctoral.

Sesiones Plenarias

Las sesiones plenarias se realizan al inicio y al final del Congreso. En la primera sesión de bienvenida e introducción al Congreso se invita a participar a expertos investigadores del panorama nacional e internacional y a los coordinadores de los programas de doctorado. En la segunda sesión plenaria se propone un debate abierto para la reelaboración de las propuestas extraídas del taller y de las mesas temáticas. Sirve también de clausura con la presentación de las conclusiones finales del Congreso IDA_Sevilla 2017.

SCIENTIFIC COMMITTEE

José Aguiar-Universidade de Lisboa
Benno Albrecht-Università IUAV di Venezia
Francisco Javier Alejandro Sánchez-Universidad de Sevilla
Darío Álvarez Álvarez-Universidad de Valladolid
Antonio Ampliato Briones-Universidad de Sevilla
Joaquín Antuña-Universidad Politécnica de Madrid
Ángela Barrios Padura-Universidad de Sevilla
José María Cabeza Laínez-Universidad de Sevilla
Pilar Chías Navarro-Universidad de Alcalá
Juan Calatrava Escobar-Universidad de Granada
María Carrascal Pérez-Universidad de Sevilla
Helena Coch Roura-Universitat Politècnica de Catalunya
Jorge Cruz Pinto-Universidad de Lisboa
Carmen Díez Medina-Universidad de Zaragoza
Fernando Espuelas Cid-Universidad Europea
Alberto Ferlenga-Università IUAV di Venezia
Luz Fernández-Valderrama-Universidad de Sevilla
Vicente Flores Alés-Universidad de Sevilla
María del Carmen Galán Marín-Universidad de Sevilla
Jorge Filipe Ganhão da Cruz Pinto-Universidade de Lisboa
Carlos García Vázquez-Universidad de Sevilla
Sara Girón Borrero-Universidad de Sevilla
Francisco Gómez Díaz-Universidad de Sevilla
Amparo Graciani-Universidad de Sevilla
Francisco Granero Martín-Universidad de Sevilla
Francisco Hernández Olivares-Universidad P. de Madrid
Miguel Ángel de la Iglesia-Universidad de Valladolid
Paulo J.S. Cruz-Universidade do Minho
Francesc Sepulcre-Universitat Politècnica de Catalunya
Ángel Luis León Rodríguez-Universidad de Sevilla
Mercedes Linares Gómez del Pulgar-Universidad de Sevilla
María del Mar Loren Méndez-Universidad de Sevilla

Margarita de Luxán García de Diego-Universidad P. de Madrid
Madelyn Marrero-Universidad de Sevilla
Juan Jesús Martín del Río-Universidad de Sevilla
Luis Martínez-Santamaría-Universidad Politécnica de Madrid
Ángel Martínez García-Posada-Universidad de Sevilla
Mauro Marzo-Università IUAV di Venezia
Pilar Mercader Moyano-Universidad de Sevilla
Antonello Monaco-Università degli Studi di Reggio Calabria
Marta Molina Huelva-Universidad de Sevilla
José Morales Sánchez-Universidad de Sevilla
Eduardo Mosquera Adell-Universidad de Sevilla
María Teresa Muñoz Jiménez-Universidad Politécnica de Madrid
Jaime Navarro Casas-Universidad de Sevilla
José Joaquín Parra Bañón-Universidad de Sevilla
Víctor Pérez Escolano-Universidad de Sevilla
Francisco Pinto Puerto-Universidad de Sevilla
Mercedes Ponce Ortiz de Insagurbe-Universidad de Sevilla
Juan Luis de las Rivas Sanz-Universidad de Valladolid
Carmen Rodríguez Liñán-Universidad de Sevilla
Javier Ruiz Sánchez-Universidad Politécnica de Madrid
Joaquín Sabaté Bel-Universitat Politècnica de Catalunya
Victoriano Sáinz Gutiérrez-Universidad de Sevilla
Santiago Sánchez Beitia-Universidad del País Vasco
Domingo Sánchez Fuentes-Universidad de Sevilla
José Sánchez Sánchez-Universidad de Sevilla
Juan José Sendra Salas-Universidad de Sevilla
Julián Sobrino Simal-Universidad de Sevilla
Federico Soriano Peláez-Universidad Politécnica de Madrid
Rafael Suárez Medina-Universidad de Sevilla
Miguel Ángel Tabales Rodríguez-Universidad de Sevilla
Antonio Tejedor Cabrera-Universidad de Sevilla
Jorge Torres Cueco-Universidad Politécnica de Valencia
Elisa Valero Ramos-Universidad de Granada
Manuel Vázquez Boza-Universidad de Sevilla
Narciso Vázquez Carretero-Universidad de Sevilla
Teófilo Zamarreño García-Universidad de Sevilla

FOREWORD

The Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC), in collaboration with the Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAS) and the Escuela Internacional de Doctorado (EIDUS) of the University of Seville are pleased to welcome the heads of research from both Spanish and overseas universities, consolidated researchers and young doctoral researchers to the First International Congress of Doctorates in Architecture IDA Sevilla, from 27th to 28th November 2017.

The **IDA_Sevilla 2017** Congress offers a general perspective of doctoral studies in the field of Architecture and its related disciplines: urban planning, heritage, landscape, construction technologies and sustainability. In the new context generated after the elimination of the doctoral programs prior to RD 99/2011, it is necessary to carry out an analysis of the complex panorama that the former programs and the new doctoral programs have drawn up, in order to know in detail both what has been achieved so far, as well as the challenges of the future of advanced doctoral research in Spain, in the European and international context.

The startling changes that are taking place in our society call for a vision of research that is not compartmentalised into traditional disciplines or areas of knowledge. Doctoral research in Architecture must adapt to changes in society and to the sustainable productive needs of territory.

The congress will take place at the Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla, organised in four simultaneous thematic tables, a workshop on the administration of doctoral programs and two plenary sessions.

The **thematic tables** are aimed at young doctors and doctoral students of the different participating universities who will present their experiences and methods of their research - in development or recently concluded. The participation in the thematic tables is carried out through the selection procedure with blind peer review established in the call for papers and through express invitations to the debate. The almost 70 communications have been structured in four thematic areas representative of the PhD programs in Architecture.

The **open workshop** will be held in two sessions with the participation of the coordinators of each of the collaborating programs of the Congress, and professors with extensive doctoral experience. Its objectives are multiple: to discuss the experiences undertaken in the different universities, exchange ideas about the approaches and models applied, address the challenges of internationalization and management, launch the new Industrial Doctorate with companies and public agencies, and so on.

There are two **plenary sessions**: one, a plenary session of introduction to the congress, with the participation of coordinators of national and foreign doctoral programs; and a closing plenary session, with an open debate for the going-over of the conclusions drawn from the thematic tables and the workshop, and the presentation of final conclusions.

We thank the Escuela Internacional de Doctorado of the University of Seville, and the Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla for the support they have provided for the holding of this meeting, which contributes so much to the clarification of the future of doctoral studies in Spanish universities in the face of the great challenge of internationalization and the continuous improvement of the quality of research in Architecture. We also thank those responsible for the participating Doctoral Programs, the Architecture library of the US and all the participants and attendees.

Antonio Tejedor Cabrera
Marta Molina Huelva

PRÓLOGO

El Instituto Universitario de Arquitectura y Ciencias de la Construcción (IUACC), con la colaboración de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura (ETSAS) y la Escuela Internacional de Doctorado (EIDUS) de la Universidad de Sevilla, se complacen en recibir a los responsables de investigación de universidades españolas y extranjeras, a los investigadores consolidados y a los jóvenes investigadores de doctorado en el I CONGRESO INTERNACIONAL DE DOCTORADOS EN ARQUITECTURA IDA_Sevilla, del 27 al 28 de noviembre de 2017.

El congreso **IDA_Sevilla 2017** ofrece una perspectiva general de los estudios de doctorado en el campo de la Arquitectura y sus disciplinas afines: urbanística, patrimonio, paisaje, tecnologías de la construcción y sostenibilidad. En el nuevo contexto generado tras la extinción de los programas doctorales anteriores al RD 99/2011 es necesario realizar un análisis del complejo panorama que han construido los programas extintos y los nuevos programas de doctorado, con el objeto de conocer con detalle tanto lo conseguido hasta ahora como los retos que depara el futuro de la investigación doctoral avanzada en España, en el contexto europeo e internacional.

Los vertiginosos cambios que se están produciendo en nuestra sociedad reclaman una visión de la investigación no compartimentada en disciplinas o áreas de conocimiento tradicionales. La investigación doctoral en Arquitectura debe adaptarse a los cambios de la sociedad y a las necesidades productivas sostenibles en el territorio.

El congreso se celebra en la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla organizado en cuatro mesas temáticas simultáneas, un taller sobre la gestión de los programas de doctorado y dos sesiones plenarias.

Las **mesas temáticas** están dirigidas a los jóvenes doctores y a estudiantes de doctorado de las diferentes universidades participantes que exponen sus experiencias y métodos sobre las investigaciones en desarrollo o recientemente concluidas. La participación en las mesas temáticas se realiza por el procedimiento de selección con revisión por pares ciegos establecido en la *call for papers* y por medio de invitaciones expresas al debate. Las casi 70 comunicaciones se han estructurado en cuatro áreas temáticas representativas de los programas de doctorado en Arquitectura.

El **taller** de puesta en común se realiza en dos sesiones con la participación de los coordinadores de cada uno de los programas colaboradores del Congreso y de profesores con amplia experiencia doctoral. Sus objetivos son múltiples: debatir sobre las experiencias desarrolladas en las distintas universidades, intercambiar ideas sobre los enfoques y los modelos aplicados, abordar los retos de internacionalización y de gestión, poner en marcha el nuevo Doctorado Industrial con empresas y agencias públicas, etc.

Las **sesiones plenarias** son dos: una sesión plenaria de introducción al congreso, con la intervención de coordinadores de programas de doctorado nacionales y extranjeros; y una sesión plenaria de clausura, con un debate abierto para la reelaboración de las conclusiones extraídas de las mesas temáticas y del workshop y la presentación de las conclusiones finales.

Agradecemos a la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad de Sevilla y a la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla el apoyo que han proporcionado para la realización de este encuentro que tanto contribuye a clarificar el futuro de los estudios doctorales en las universidades españolas ante el gran reto de la internacionalización y la continua mejora de la calidad de la investigación en Arquitectura. Damos las gracias también a los responsables de los Programas de Doctorado participantes, a la Biblioteca de Arquitectura de la US y a todos los participantes y asistentes.

Antonio Tejedor Cabrera
Marta Molina Huelva

OBJECTIVES

1. Analyze the research lines of the various programs and build a map of doctoral research in Spain with the support of coordinators, tutors / thesis supervisors, doctoral students and young doctors in the disciplines related to Architecture and their related areas.
2. To know the status of doctoral theses in progress or defended in the last three years, selected by means of a call with blind peer evaluation of the doctoral programs participating in the congress.
3. Discuss the structure and university management of doctoral programs in relation to employment challenges, collaboration with the productive sector and national research programs.
4. Exchange experiences with other international doctoral research programs on international mobility management, theses with international mention, co-supervised theses, theses with industrial mentions, etc.
5. No less important, consolidate a national and international network of Doctoral Programs related to Architecture, Urban Planning, Heritage, Landscape, Technologies and related disciplines.



LT 1

ARCHITECTURE
TECHNOLOGIES

LT 2

HOUSING, CITY
AND TERRITORY

LT 3

HERITAGE AND
REHABILITATION

LT 4

ANALYSIS AND
ADVANCED PROJECTS

FORMAT

Thematic tables

The thematic tables are places to present the methodologies and experiences of young doctors and doctoral students from different universities. They are managed by the doctorate students themselves, who generate conclusions to be debated and reworked in the final plenary session. The sessions are developed simultaneously with the presentation of the papers selected in the call, organized in four areas or thematic lines:

1. Architectural technologies
2. Housing, city and territory
3. Heritage and Rehabilitation
4. Analysis and advanced projects

Workshop

The workshop of the Congress is oriented towards the analysis of the problems and management needs of the Doctorate Programs, with the objective of arriving at conclusions that may be useful to the Universities involved. The coordinators of the Doctorate in Architecture programs and the doctoral students' representatives will participate in the workshop. The following are topics for debate: lines of research, methodologies, organizational needs of the doctoral programs, the International Doctorate and the Industrial Doctorate, and the future of doctoral research.

Plenary Sessions

The plenary sessions are held at the beginning and end of the Congress. In the first session of welcome and introduction to the Congress, researchers from the national and international scene and the coordinators of the doctorate programs are invited to participate. In the second plenary session an open debate is proposed for the going over of the proposals drawn from the workshop and the thematic tables. It also serves as a closing ceremony with the presentation of the final conclusions of the 2017 IDA_Sevilla Congress.

Beams were tested in bending, according to UNE-EN 408 (2011) (Fig.6), and the effects of GFRP reinforcements in the MOE, ultimate strength (MOR) and improvement in the dispersion of results were measured and analyzed. The failure modes of each beam were also observed.



Fig. 6 Duo beams test according to UNE EN-408.

The results of these tests on reinforced Populus beams are shown in Figure 7, with a significant improvement with increments in the moduli of elasticity of 10% for GFRP reinforcements of 1200 gr / m² and of around 15% for GFRP reinforcements of 2400 gr / m².

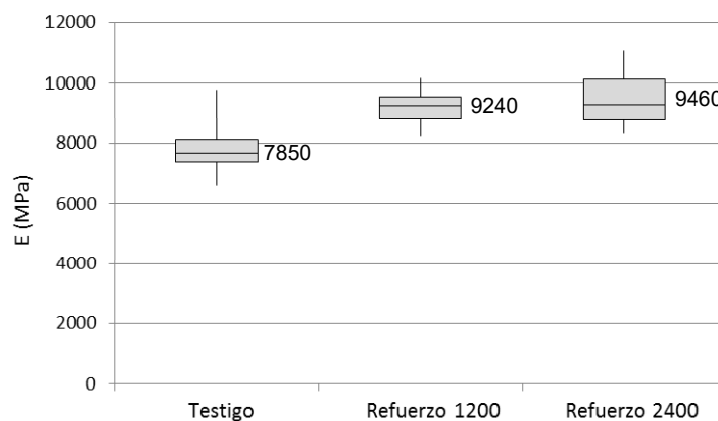


Fig. 7 Box and whiskers graph with the modulus of elasticity of poplar duo beams.

At the present time only the previous data analyzes of the poplar duo beams are available, and the bending test of the Pinaster beams is scheduled for close dates.

3.3. Creep tests

In order to study the long-term behavior of the reinforced duo beams, in relation to unreinforced ones, a long-term test has been set up, according to UNE-EN 380 (1998), with a total load of 10 kN, which represents approximately 50% of ultimate load of the beams. The ambient conditions of the laboratory remain nominally constant, $20 \pm 2^\circ\text{C}$; $65 \pm 5\%$ humidity in air, corresponding to a hygroscopic balance of 12% HR in the wood (Kollman 1959).

The load is applied by means of the filling and filling of individual tanks (Figure 8), single wall polyethylene (PE), with a useful capacity of 1000 liters and dimensions of approximately 1650x720x1260 mm, with upper filling nozzles and lower emptying device, with locking key. The support of the tanks on the beams is made with an intermediate resistant platform, which allows to apply the load on the beams on two points, following the support distances proposed by UNE-EN 408 (2011).

OBJETIVOS

1. Analizar las líneas de investigación de los diversos programas y construir el mapa de la investigación doctoral en España con el apoyo de los coordinadores, los tutores/directores de tesis, los doctorandos y los jóvenes doctores en las disciplinas relacionadas con la Arquitectura y sus áreas afines.
2. Conocer el estado de las tesis doctorales en marcha o defendidas en los últimos tres años, seleccionadas por medio de una *call* con evaluadores por pares ciegos de los programas de doctorado participantes en el congreso.
3. Debatir sobre la estructura y la gestión universitaria de los programas de doctorado en relación con los retos de empleo, colaboración con el sector productivo y los programas nacionales de investigación.
4. Intercambiar experiencias con otros programas de investigación doctoral a escala internacional sobre gestión de la movilidad internacional, tesis con mención internacional, tesis en cotutela, tesis con mención industrial, etc.
5. No menos importante, consolidar una red nacional e internacional de Programas de Doctorado relacionados con la Arquitectura, la Urbanística, el Patrimonio, el Paisaje, las Tecnologías y sus disciplinas afines.



ICF

SEVILLA

LT1

TECNOLOGÍAS DE
LA ARQUITECTURA

ARCHITECTURE TECHNOLOGIES / TECNOLOGÍAS DE LA ARQUITECTURA

p. 23-30: ANALYSIS OF INCIDENCE OF LICENSE MANAGEMENT ACTIVITIES IN THE PROCESSES OF THE INTERNATIONAL STANDARD UNE ISO 21,500 / p. 31-39: ANÁLISIS DE INCIDENCIA DE LAS ACTIVIDADES DE GESTIÓN DE LICENCIAS EN LOS PROCESOS DE LA NORMA INTERNACIONAL UNE ISO 21.500

García Ruiz-Espiga, Adolfo; Soler Severino, Manuel

p. 41-49: ENVELOPE'S ENERGY PERFORMANCE OF UNIVERSITIES BUILDINGS LOCATED IN BAHIA – BRAZIL / p.50-58: DESEMPEÑO ENERGÉTICO DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA DE EDIFICACIONES UNIVERSITARIAS CONSTRUIDAS EN BAHIA - BRASIL

Santana, Bruno; Coch, Helena

p. 59-66: A STUDY OF THE ESSENTIAL CHARACTERISTICS OF A GLOBAL DANCE FLOOR SYSTEM / p. 67-74: ESTUDIO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ESENCIALES DE UN SISTEMA DE SUELO GLOBAL PARA LA DANZA

Turiel, Claudia; García-Santos, Alfonso

p. 75-83: THE ROOF THERMAL BEHAVIOR IN A TROPICAL-EQUATORIAL CLIMATE / p. 84-93: EL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LA CUBIERTA EN EL CLIMA TROPICAL-ECUATORIAL

Torres-Quezada, Jefferson; Coch-Roura, Helena; Isalgué, Antonio

p. 95-103: FRP REINFORCEMENT AND PRODUCTION OF DUO TIMBER BEAMS / p. 104-112: FABRICACIÓN Y REFUERZO DE VIGAS LAMINADAS DÚO CON FRP

Balmori, Jose Antonio; Basterra, Luis-Alfonso

p. 113-121: METHODOLOGY OF COMPLEMENTARY ASSESSMENT TO A LIFE CYCLE ANALYSIS OF THE SUSTAINABILITY OF USE GADUA BAMBOO IN CONSTRUCTIVE SOLUTIONS / p. 122-130: METODOLOGÍA DE VALORACIÓN COMPLEMENTARIA A UN ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA SOSTENIBILIDAD DEL USO DEL BAMBÚ GUADUA EN SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS

Torres Rojas, José Eduardo; Neila Gonzalez, Francisco Javier

p. 131-141: THERMODYNAMICS OF MEDITERRANEAN COURTYARDS: QUANTIFICATION AND APPLICATIONS IN ECO-EFFICIENT ARCHITECTURAL DESIGN / p. 142-152: TERMODINÁMICA DEL PATIO MEDITERRÁNEO: CUANTIFICACIÓN Y APLICACIÓN AL DISEÑO DE ARQUITECTURAS ECO-EFICIENTES

Rojas Fernández, Juan Manuel; Galán Marín, Carmen; Fernández Nieto, Enrique

p. 153-160: COMPLEMENTARY TECHNIQUES FOR THE CHARACTERIZATION OF NEW CONSTRUCTION MATERIALS: ANALYSIS AND REVIEW / p. 161-169: TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE NUEVOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS: ANÁLISIS Y REVISIÓN

Pedreño-Rojas, M. Alejandro; Morales-Conde, M. Jesús; Rodríguez-Liñán, Carmen; Pérez-Gálvez, Filomena; Rubio-de-Hita, Paloma

p. 171-181: CURRENT AND FUTURE DEMAND-SIDE MANAGEMENT POTENTIAL RELATED TO THE THERMAL MASS OF RESIDENTIAL BUILDINGS IN EUROPE BACKGROUND AND METHODOLOGICAL APPROACH / p. 182-192: POTENCIAL ACTUAL Y FUTURO DE GESTIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA ASOCIADA A LA MASA TÉRMICA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES EN EUROPA ANTECEDENTES Y PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

de-Borja-Torrejón, Manuel; León-Rodríguez, Ángel-Luis; Auer, Thomas

p. 193-203: STUDY AND ASSESSMENT OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF PRIMARY SCHOOL BUILDINGS LOCATED AT THE ALGARVE AND HUELVA: STATE OF THE ART / p. 204-214: ESTUDIO Y VALORACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS DE EDUCACIÓN PRIMARIA EN EL ALGARVE Y HUELVA: ESTADO DEL ARTE

Requena-García-de-la-Cruz, María-Victoria; Fazendeiro-Sá, Luis; Morales-Esteban, Antonio; Estêvão, João M.C.; Ferreira, Mónica A.; Durand-Neyra, Percy; Oliveira, Carlos Soussa

p. 215-222: RESEARCH ON ECO-EFFICIENT STRUCTURAL MORTARS / p. 223-231: INVESTIGACIÓN SOBRE MORTEROS ESTRUCTURALES ECO-EFICIENTES

González-Kunz, Rocío N.; Pineda, Paloma; Morillas, Leandro; Brás, Ana

p. 233-242: TOWARD A CONTEMPORARY PLANNING METHOD: TECHNOLOGICAL AND CITIZENSHIP COMMITMENT / p. 243-253: HACIA UN MÉTODO DE PLANIFICACIÓN CONTEMPORÁNEO: COMPROMISO TECNOLÓGICO Y CIUDADANO

Luque Martín, Irene

TERMODINÁMICA DEL PATIO MEDITERRÁNEO: CUANTIFICACIÓN Y APLICACIÓN AL DISEÑO DE ARQUITECTURAS ECO-EFICIENTES

Rojas Fernández, Juan Manuel ^{(1)(*)}; Galán Marín, Carmen ⁽²⁾; Enrique, Fernández Nieto⁽³⁾

(1)(*) Arquitecto Investigador en el grupo TEP-206. Email: jmrojas@us.es
(2) Prof. Titular Departamento de Construcciones Arquitectónicas I
(3) Prof. Titular Departamento de Matemática Aplicada I

Resumen: El presente trabajo estudia el uso de patios mediterráneos en la arquitectura como sistemas pasivos de ahorro energético, mediante el entendimiento detallado de su comportamiento termodinámico. Se estudia su importancia histórica en la arquitectura, proponiendo para explicar su origen y pervivencia, un enfoque que subraya las cualidades físicas y las ventajas objetivas que reportan los patios. Se describe el estado de conocimiento técnico que tenemos sobre su funcionamiento en arquitectura detectando que los programas de calificación energética actuales, desincentivan el uso del patio al no considerar la existencia de un microclima en su interior. Posteriormente se avanza en la descripción y comprensión de los fenómenos físicos que condicionan los comportamientos microclimáticos relacionándolos con sus características geométricas. Esto se realiza tanto a un nivel teórico con el estudio de varios diseños tipo, como a nivel experimental, con la monitorización y estudio del diseño de patios reales.

Palabras clave: Microclimas, CFD, Clima Mediterráneo, Patio, Eco-eficiencia.

1. Objetivos

Comprender y cuantificar tanto el microclima del patio así como su influencia sobre la eco-eficiencia de los edificios. Para ello se desarrollan simulaciones computarizadas mediante código original capaces de calcular la temperatura del patio para un clima y una arquitectura dada.

2. Introducción

La capital importancia del patio en la arquitectura mediterránea queda evidenciada al ser el espacio más representativo de la casa en las ciudades de estas regiones, desde los albores de la civilización (Capitel 2005; Díaz Recasens 1997; Pérez de Lama 1996). La casa romana y la casa musulmana son claros exponentes de esto en el arco mediterráneo tal y como se ha mostrado. La prevalencia o desaparición del patio se ha analizado en un mismo entorno cultural pero diferente clima. La figura 1 compara Santiago de Compostela en el norte de España, que tiene un clima más frío, y Sevilla, una ciudad en el sur que tiene un clima más cálido. En Santiago los patios son escasos, sin embargo, en Sevilla son parte significativa de la estructura urbana.



Fig. 1 Comparación entre la estructura urbana de Santiago de Compostela (a) y Sevilla (b)

Por otro lado, existen patios que organizan las piezas de las casas de manera muy similar a la de las mediterráneas en diferentes y distantes regiones de la tierra que comparten climas cálidos. Hay patios en regiones apartadas de China y en la América precolombina (Carballo 2016) donde la

continuidad cultural no ha sido posible. Por tanto, que el patio sea más propio de climas cálidos o cálidos-templados y menos de climas fríos indica que es una adaptación climática de la edificación. Se propone como hipótesis la lógica existencia en estos espacios de un microclima con aire más fresco que el del exterior, que ayuda a moderar las temperaturas de la edificación.

3. Marco científico

Sin embargo, al estudiar el marco científico y técnico sobre edificación energéticamente sostenible, se constata los graves problemas de entendimiento de la estrategia del patio. En la mayoría de los trabajos internacionales de referencia estudiados no aparece mención alguna al patio, ni cuando se refieren a climas cálidos. Cuando aparece, lo hace de manera parcial describiendo sólo sus cualidades de ventilación y raramente sus propiedades microclimáticas (Energy Research Group of University College Dublin 2014). En los trabajos nacionales sí se ha encontrado, en mayor o menor medida, una más cuidadosa atención y estudio a estas cualidades aunque sin poder cuantificarlas (Neila González 2004). Se establece una razonable causa de falta de familiaridad climático-cultural con la solución del patio que hace más difícil su entendimiento como estrategia bioclimática en climas septentrionales. Pero también las grandes dificultades de la descripción científica y cuantitativa del fenómeno, colaboran en su falta de consideración técnica.

En este sentido se constata que tanto los programas informáticos más extendidos de balance energético así como los que determinan la calificación obligatoria de la eficiencia energética de los edificios en países como España, no consideran la existencia de un microclima real diferente del exterior dentro de los patios que pueda contribuir al ahorro de energía en los edificios. El paradigma energético asumido para cualquier clima, de hacer los edificios lo más compacto posible, con el menor coeficiente de forma, a través de normativas como el CTE (Díaz Guirado & Allepuz Pedreño 2016), criterios de concursos públicos y prescripciones de ingenierías, hacen cada vez más difícil la integración de patios en los diseños contemporáneos.

Sólo en los últimos años, los nuevos enfoques aportados por las investigaciones basadas en dinámica de fluido computacional (CFD) (Murakami 2006) (Kubota et al. 2017; Micallef et al. 2016; Almhafdy et al. 2015; Padilla-Marcos et al. 2015; Bajunid et al. 2013; Al-Masri & Abu-Hijleh 2012; Moonen et al. 2011; Muhaisen 2006; Rajapaksha et al. 2003) así como el distinto acercamiento al factor de confort aportando por el campo del confort térmico adaptativo (Nicol et al. 2012), han abierto mejores perspectivas para la consideración de los patios en edificios naturalmente ventilados. Por tanto, se señala la necesidad de establecer científicamente la forma en que los patios son realmente buenas adaptaciones climáticas y cuantificar de manera efectiva su comportamiento.

De igual forma se establece la hipótesis de que, existe una adaptación “natural” de las características del patio a cada clima. Así, se estudia como efectivamente, algunas características dimensionales de los patios se relacionan con el clima en donde se sitúan. Esto permite establecer una relación entre su forma arquitectónica y su comportamiento microclimático. Es la arquitectura la que crea y condiciona el microclima del patio. Distintas geometrías y elementos (vegetación, agua, sombra) definidos desde la arquitectura modifican el comportamiento termodinámico del patio. En concreto, tras un estudio de diferentes tipos de patios históricos se observa como en regiones más cálidas, los patios suelen ser más profundos (entendida la profundidad como la razón entre la altura y la anchura $P=h/a$) que en las frías (Tabla1). Sin embargo, en regiones más frías los patios, no existen como vimos o cuando lo hacen, suelen ser más grandes y de menores profundidades (más anchos) como se refleja en la figura 2.

Tabla 1. Profundidad de los patios históricos.

CLIMAS	TAMAÑOS	PROFUNDIDAD P							
		< 0.2	0.2-0.4	0.5-0.9	1-1.9	2-3	>3		
CLIMAS MEDITERRÁNEOS	PEQUEÑA ESCALA	Mesopotamia					■		
		Antiguo Egipto			■	■	■		
		Antigua Grecia			■				
		Antigua Roma					■		
		Islam						■	
		Andalucía s.XVII-XIX					■	■	
		Modernidad			■	■			
	GRAN ESCALA	Antigua Roma				■			
		Islam-Mudéjar				■			
		Renacimiento				■			
		Andalucía s.XVII-XIX				■			
		Manzanas de ensanche		■	■	■			
		CLIMAS FRÍOS	PEQUEÑA ESCALA	Poco frecuentes					
			GRAN ESCALA	Medieval gótico	■	■			
Ciudades centro europeas	■								

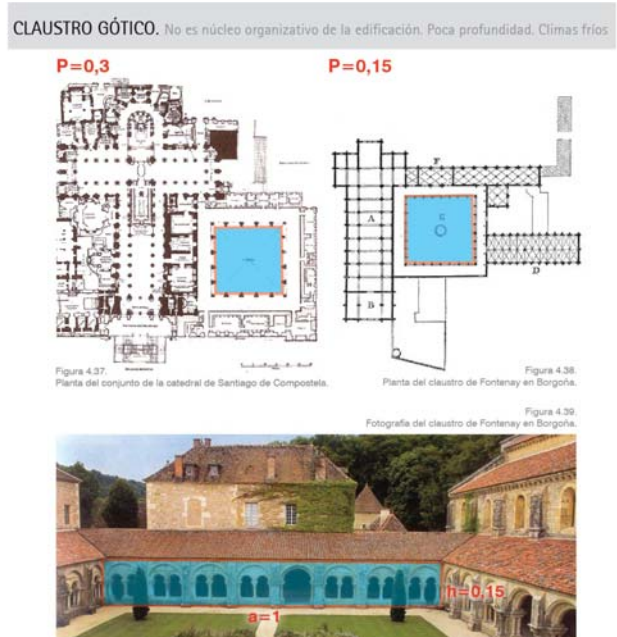


Fig. 2 Patio poco profundo típico de clima frío.

4. Termodinámica del patio.

Las específicas características termodinámicas de los patios evidencian sobre bases físicas, la relación entre la geometría de los patios y su distinto comportamiento termodinámico. Específicamente, se ha estudiado en la tesis cómo los principales fenómenos físicos que afectan al microclima de los patios, estratificación, convección y patrones de flujo, se ven modificados por la profundidad del mismo. La existencia de sumideros térmicos como muros sombreados o la presencia de agua y vegetación (enfriamiento evaporativo) completan el entendimiento del fenómeno. A mayor profundidad y clima más cálido, el microclima es más intenso, lo que permite una mayor diferenciación de la temperatura del patio de la del exterior. Esto explica la relación entre mayor profundidad del patio y clima más cálido expuesta anteriormente y justifica que los patios sean más propios de climas cálidos que los fríos. Como consecuencia de la naturaleza fluidodinámica del fenómeno, esta relación no es lineal.

Precisamente debido a la complejidad de la interacción de todos estos factores en un contexto de dinámica de fluidos, se evidencia las limitaciones de los estudios puramente analíticos que intentan la descripción de estos fenómenos mediante formulaciones simplificadas. Para integrar la complejidad de este comportamiento es necesario el uso de simulaciones mediante modelos numéricos específicos en el contexto del campo científico de la dinámica de fluido computacional. Por ello se ha desarrollado un método de simulación que usa un código basado en el calculador de elementos finitos de código libre Freefem++ con el objetivo de simular la termodinámica del patio y cuantificar la diferencia de temperatura con el exterior. La tesis desarrolla un método, en el que se integra las herramientas de diseño arquitectónico (CAD, BIM, Sketchup...) con los códigos propios de las simulaciones numéricas. Estos modelos numéricos se han testado primero con geometrías sencillas constatando que reproducen resultados experimentales obtenidos en anteriores investigaciones (De La Flor & Domínguez 2004). También nos han permitido comprender mejor las relaciones entre la geometría del patio y su comportamiento termodinámico (fig.3) que permiten explicar mejor porqué el microclima es más intenso cuanto más profundo es el patio. Al ser más profundo, los fenómenos estudiados, especialmente el de estratificación, aumentan su intensidad favorecido por el mayor aislamiento del aire del patio con respecto al del exterior. El estudio es realizado sobre patios tipos para unas condiciones exteriores que no representan la complejidad de las condiciones de verano o invierno reales pero dan nociones de su comportamiento termodinámico ante cada fenómeno aislado.

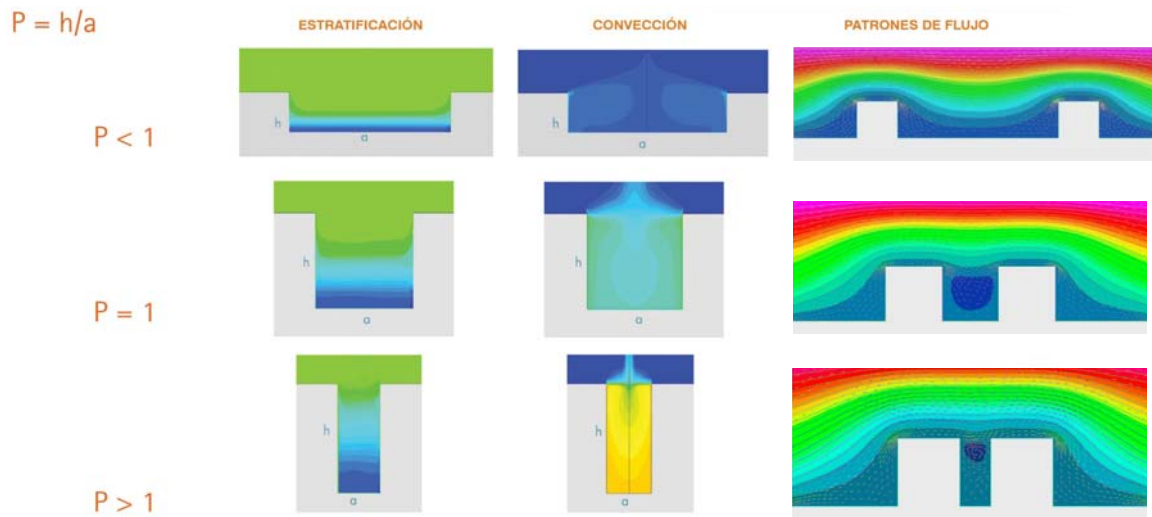


Fig. 3 Profundidad y comportamiento termodinámico del aire en el patio. Para estratificación y convección los colores representan temperaturas y para los patrones de flujo los colores son velocidades del aire (los valores son nominales no realistas por eso no se representan escalas)

5. Estudio de patios reales.

Una pieza importante de la tesis ha consistido en la monitorización de patios reales con un doble objetivo. Por un lado terminar de constatar de manera directa la existencia de un microclima en los patios para disipar las dudas que todavía pudieran existir, midiendo con precisión la intensidad del fenómeno como diferencia entre temperatura dentro del patio y la del exterior. Por otro, obtener una fuente fiable de datos con respecto a edificios reales que nos permita poner a prueba los métodos de simulaciones desarrollados, testando si nuestros modelos son capaces de calcular la temperatura en el interior del patio a partir de las condiciones exteriores y la arquitectura concreta del edificio.

Nos interesa sólo monitorizar las temperaturas del aire (bulbo seco) por lo que se miden temperaturas a la sombra descartando los efectos de la radiación. Este aire, transparente a la radiación y no afectado directamente por ella, es el que terminará entrando en el edificio condicionando con su temperatura el ambiente interior. Por otro lado, también se tiene en cuenta el confort directo de las personas en el patio. El enfoque del confort térmico adaptativo (sobre el que profundizaremos al final del trabajo), nos indica que el microclima del patio estará en la zona de sombra del mismo, nunca bajo el sol. El hombre en espacios con grandes contrastes térmicos se adapta buscando siempre la zona de mayor confort para cada tiempo que en el caso de un patio y en nuestro clima es la zona de sombra. Por tanto, para determinar el confort, buscar en ese espacio una única temperatura basada en medias de temperaturas extremas de distintas zonas y horas no ofrece información relevante. Se constata que esto es justo lo que hacen los programas de cálculo nodales más extendidos que calculan el confort y balance energético general de los edificios. Esto perjudica la justa evaluación del microclima de los patios.

Las campañas de monitorización de patios en tres ciudades andaluzas, Córdoba, Sevilla y Málaga (fig. 4), constatan la existencia de un patrón de diferencias de temperaturas entre el interior y el exterior, evolucionando durante las horas del día, que revela la existencia inequívoca de un microclima en el interior del patio.

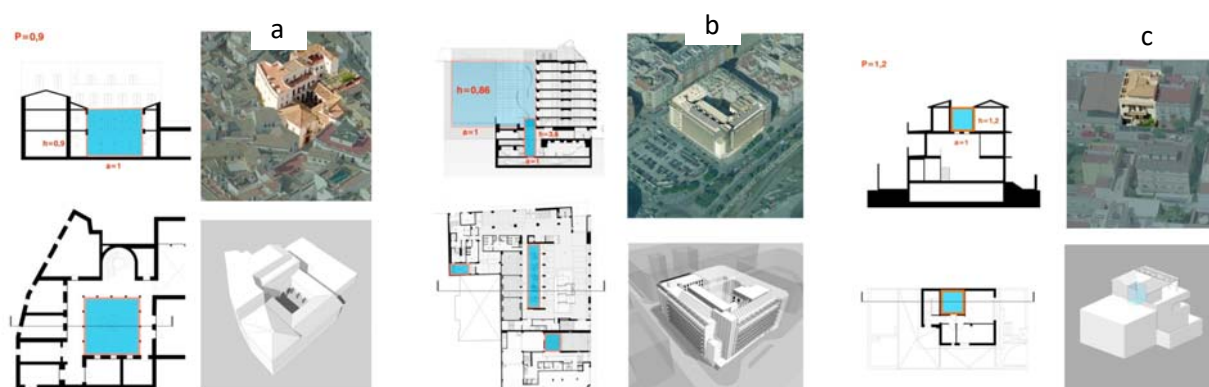


Fig. 4 Patios estudiados en Córdoba (a), Málaga (b) y Sevilla (c).

En cada campaña se han detectado diferentes intensidades de microclima, es decir, mayores o menores diferencias entre la temperatura en el patio y en el exterior. Lo que experimentalmente se ha llegado a concluir es que la mayor parte de estas diferencias son debidas a las distintas condiciones exteriores. Cuando las temperaturas exteriores son altas, el microclima del patio es especialmente intenso alcanzando diferencias de temperaturas entre el interior del patio y el exterior superiores a 8 °C (fig. 5). Cuando las temperaturas son más bajas, las diferencias entre el patio y el exterior disminuyen haciéndose incluso negativas, lo que implica que al bajar mucho la temperatura por la noche, las temperaturas en el patio son, a veces, más altas que las del exterior (fig. 6).

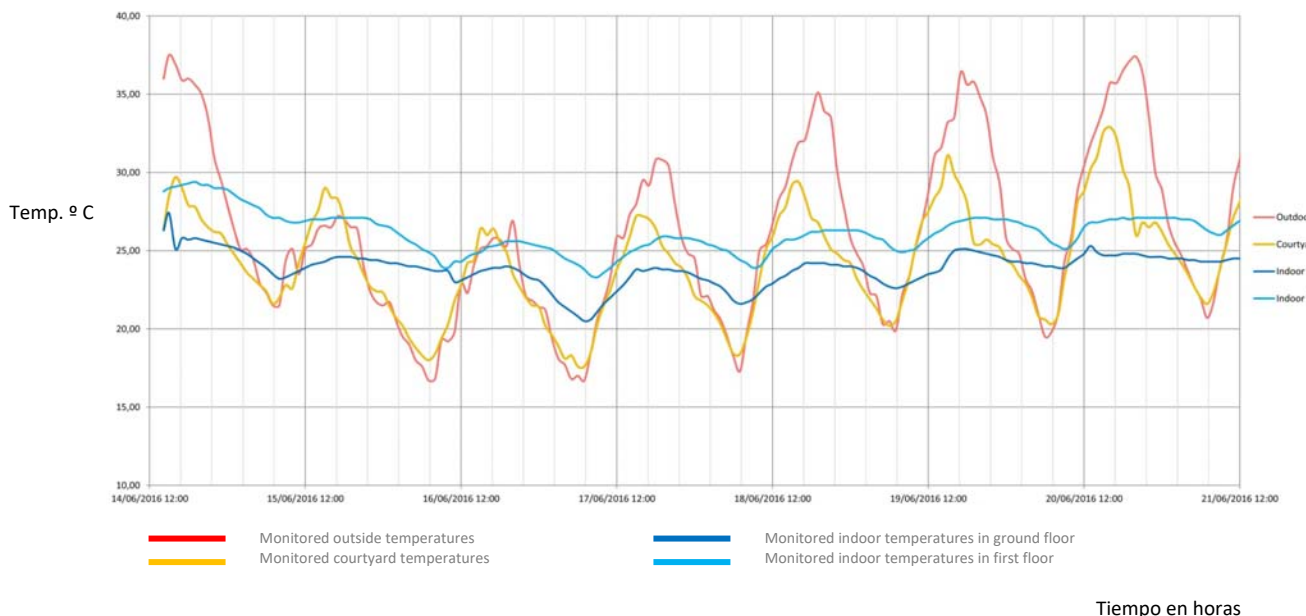


Fig. 5 Evolución de las temperaturas dentro del patio de Córdoba, en el exterior y en el interior del edificio.

El estudio comparativo de las curvas de evolución de las temperaturas exteriores del patio y las del interior del edificio, ha permitido extraer varias conclusiones:

El microclima del patio no se explica por el aporte de aire más templado desde el interior del edificio lo que implicaría un balance final neutro y la poca eficacia del microclima del patio sobre el comportamiento energético del edificio. El análisis de las fases de las ondas térmicas así lo demuestra. Las ondas de las curvas térmicas del patio sólo están en fase con las exteriores no con las interiores. La explicación del microclima como simple mezcla de condiciones interiores y exteriores no es exacta. El microclima de los patios se explica por fenómenos termodinámicos derivados sobre todo de las condiciones exteriores y de la geometría del patio y no tanto de las temperaturas interiores del edificio. Es decir, a pesar de todos los intercambios energéticos existentes entre el interior del edificio y el patio a través de los cerramientos y los huecos, la temperatura del aire del patio no se debe tanto a las del interior del edificio. La existencia de sumideros térmicos en el patio como muros más frescos (inercia térmica) o enfriamiento evaporativo por presencia de agua o vegetación es un fenómeno que puede colaborar en la creación del microclima pero no así el aporte del aire desde el interior del edificio. De hecho, el flujo de aire en los patios estudiados suele ir desde los patios hacia el interior de los edificios. Por ello el efecto del microclima del patio sobre el balance energético general del edificio es positivo.

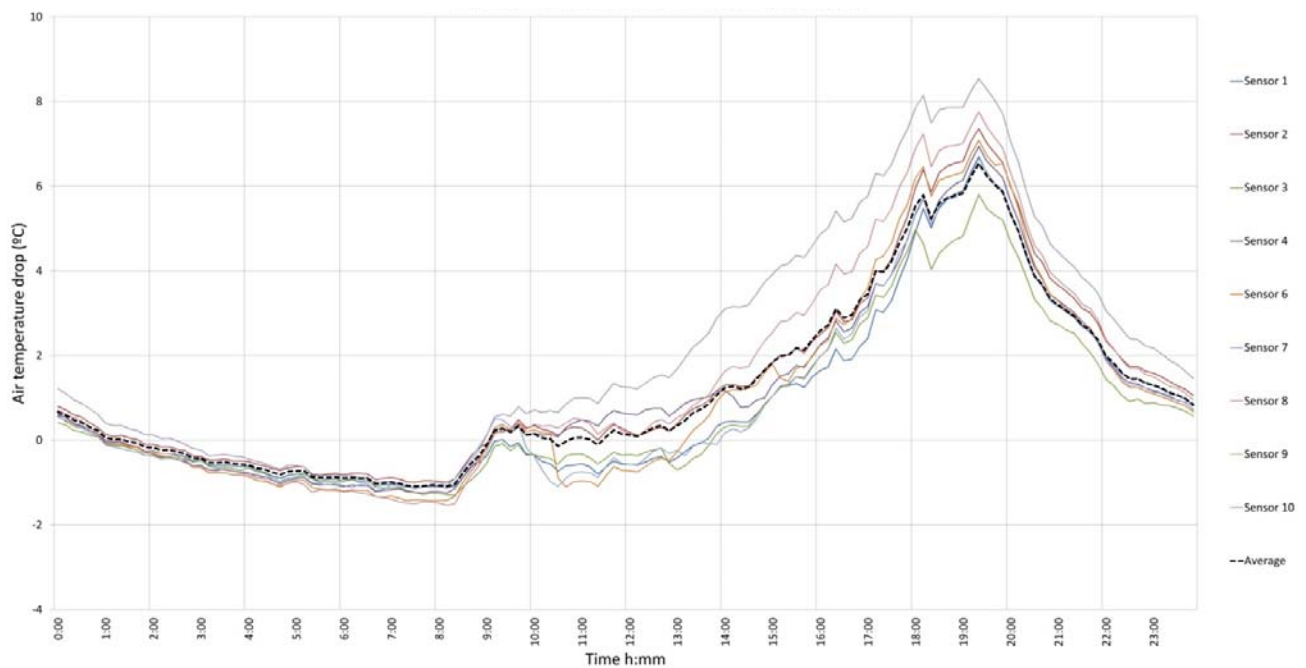


Fig. 6 Media semanal de las diferencias en cada hora entre la temperatura del patio y la del exterior

Por otro lado, se comprueba que las temperaturas interiores de edificios con patio naturalmente ventilados están más relacionadas con las temperaturas del patio que con las temperaturas exteriores. Los cambios en las temperaturas exteriores no producen de manera rápida un cambio en la evolución de las temperaturas del patio ni en la evolución de las temperaturas interiores del edificio. Por tanto, la temperatura interior en un edificio mediterráneo con patio depende más de la temperatura del patio que de la temperatura exterior. Es lógico si tenemos en cuenta que los edificios que funcionan naturalmente ventilados, como el que estudiamos en Córdoba, toman la mayor parte del aire exterior a través del patio, pues es dónde donde en mayor medida se abren al exterior. Además, esta apertura se realiza en planta baja, donde el microclima del patio es más intenso debido a que la estratificación hace que el aire situado a niveles inferiores sea más fresco.

Por otro lado, en las campañas se observa que el microclima del patio tiene mayor intensidad cuando las temperaturas exteriores son elevadas (mayores que de 25° C). Cuando son bajas, la temperatura del patio es igual a la exterior. Por ello, se infiere que el patio tiene un comportamiento neutro en invierno con temperaturas similares a las exteriores.

6. Simulaciones de patios reales previamente monitorizados.

Para terminar de analizar y entender estos comportamientos, se han realizado simulaciones por ordenador usando, en primer lugar, programas comerciales de uso extendido como el DesignBuilder (fig.7). Se ha modelizado en este programa el edificio estudiado en Córdoba, introduciendo como clima exterior las temperaturas reales monitorizadas en vez de las que por defecto trae el programa en su archivo climático. Se trataba de observar con mayor precisión si, para un edificio naturalmente ventilado con patio como el estudiado, el programa reproduce las temperaturas interiores reales monitorizadas. Se ha comprobado que las temperaturas interiores calculadas por programas comerciales como el usado son muy superiores a las reales monitorizadas y similares a las exteriores en la cubierta del edificio. La necesidad de abarcar en esta tesis diferentes aspectos del problema para obtener un entendimiento global del mismo, limita la posibilidad de realizar muchas más simulaciones sobre los patios monitorizados en distintas campañas. Esto, sin duda permitirían un mejor y más detallado establecimiento de los hallazgos. Pero se considera suficientemente demostrado que programas como el usado no calculan correctamente el comportamiento termodinámico de edificios naturalmente ventilados con patio. Esto es lógico si tenemos en cuenta que no consideran la existencia de un microclima dentro del mismo. Para estos programas la temperatura en el patio es exactamente igual que la temperatura exterior en cubierta.

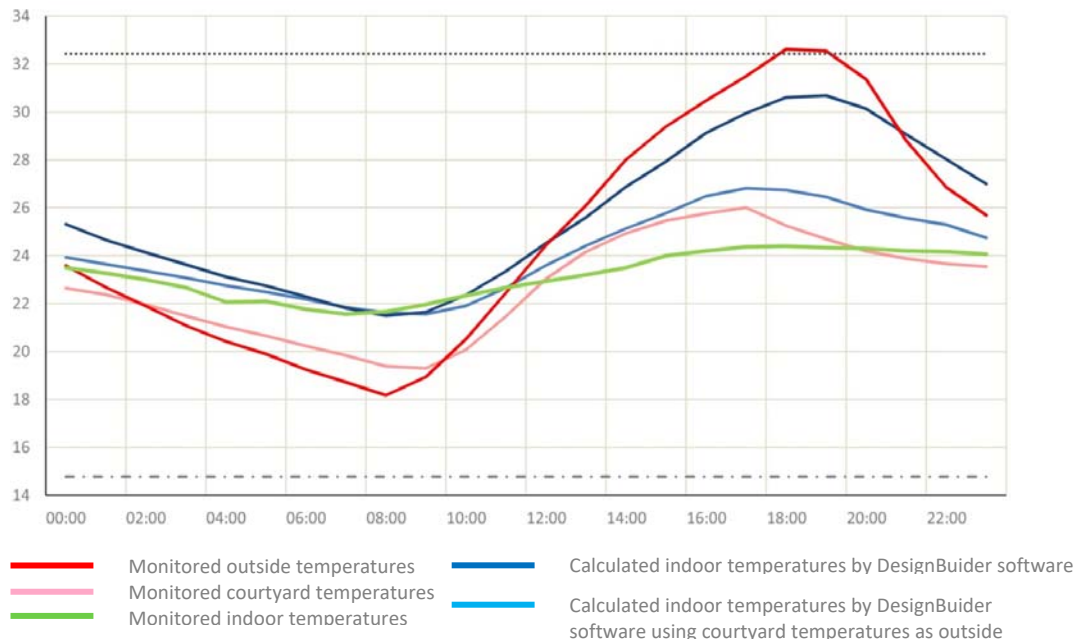


Fig. 7 Cálculo de temperaturas interiores del edificio de Córdoba realizado con DesignBuilder.

Asumiendo las limitaciones del programa en este punto, pero entendiendo que el balance energético global de los edificios es realizado con más fidelidad en otros diseños sin patio, se realiza otra simulación en la que se manipula el archivo climático para introducir las temperaturas monitorizadas del patio real. Las temperaturas interiores calculadas ahora por el programa se asemejan mucho más a las temperaturas reales monitorizadas en el interior del edificio real. Esto tiene dos importantes implicaciones. Queda demostrada la influencia real de las temperaturas del microclima del patio en las temperaturas del interior de los edificios naturalmente ventilados. Por otro lado, señala la manera de evaluar energéticamente la existencia del patio en el diseño de nuevos edificios. Desarrollando un método para calcular las temperaturas producidas por el microclima del patio, podríamos introducirlas como hemos hecho en programas de balance energético comerciales y calcular con más precisión el comportamiento energético de edificios con patio. Por ello se utiliza ahora el método de simulación desarrollado para calcular las temperaturas debidas al microclima del patio. Se modeliza el edificio del Hotel Ilunion Málaga por su especial complejidad geométrica y por representar un ejemplo contemporáneo de uso de la estrategia del patio (fig.8). No sólo permite el uso del microclima del patio de manera pasiva funcionando como edificio naturalmente ventilado, sino que lo integra de forma activa al tomar aire desde el mismo para el sistema general de climatización del edificio. Con ello se muestra otra posibilidad más técnica en el diseño y uso del patio y hace más pertinente, si cabe, la necesidad de la cuantificación de su comportamiento.

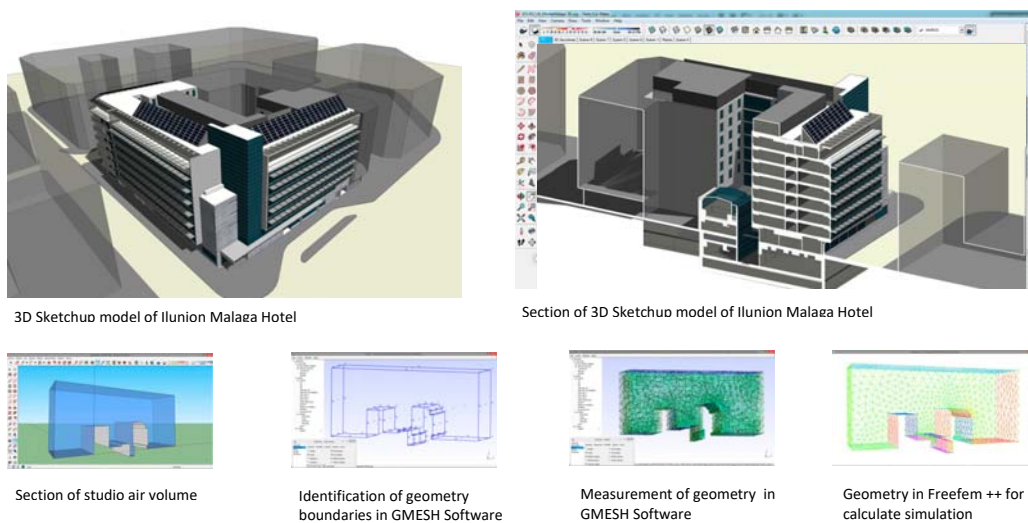


Fig. 8 Proceso de generación de geometría y mallado para simulación.

Las simulaciones se realizan por fases integrando en cada una de ellas los distintos fenómenos para comprobar cómo va reaccionando el microclima del patio y entender mejor su comportamiento (fig. 9). Finalmente se comprueba que la simulación reproduce correctamente las temperaturas monitorizadas interiores del patio real, por lo que queda abierta la posibilidad de la correcta evaluación energética de edificios con patio (fig 10-11). Por tanto se concluye que saber la temperatura exacta del aire del patio gracias a la presente investigación, nos permite el cálculo de las temperaturas interiores cuando el edificio funciona de manera pasiva. Pero también nos permite el cálculo más preciso de las potencias necesarias de climatización cuando el aire del patio es usado para la renovación de los edificios como en el caso del Hotel Ilunion Málaga.

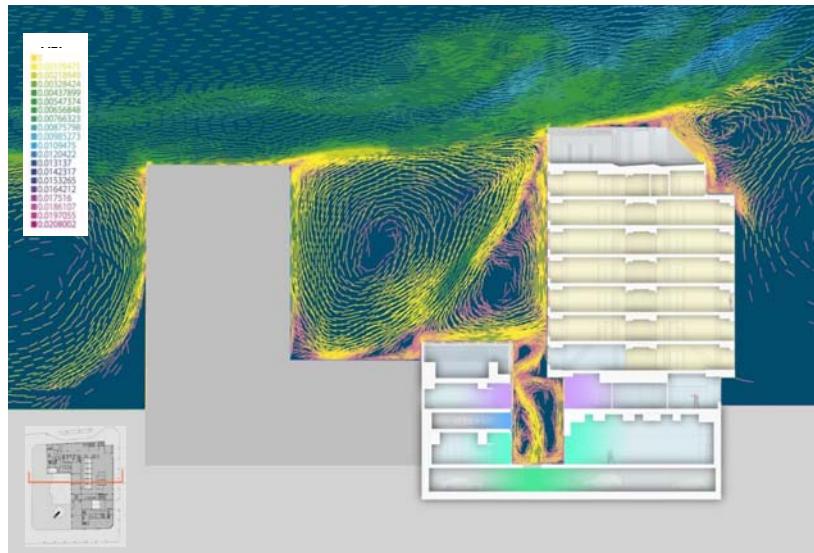


Fig. 9 Patrones de flujo de corrientes inducidas por el viento para esa geometría (Rojas-Fernández et al. 2012).

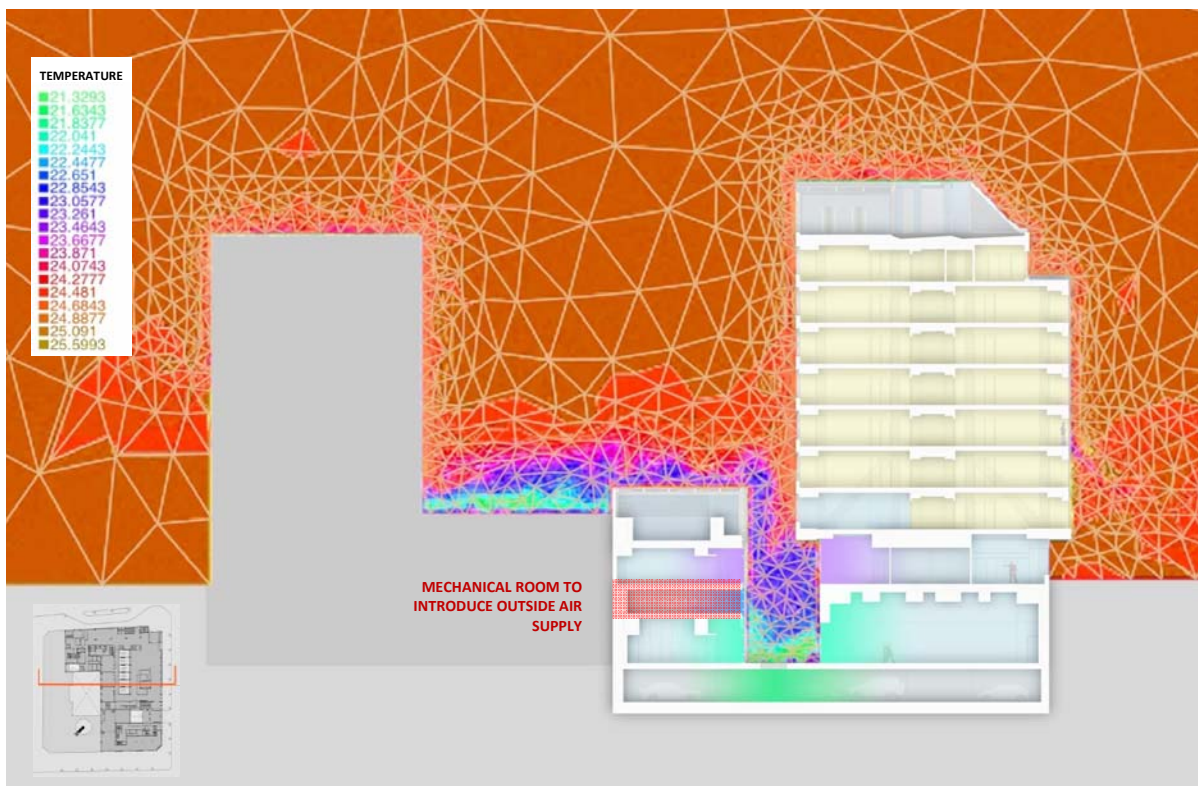


Fig. 10 Simulación de la distribución de las temperaturas en el patio (Rojas-Fernández et al. 2012).

Como se mencionó más arriba, la reducción del estudio a este ejemplo está justificada por los objetivos más generales de la tesis. Pero sería necesario un trabajo monográfico con un número

suficiente de simulaciones comparadas con sus correspondientes monitorizaciones que terminara de describir con detalle el alcance y limitaciones de las simulaciones propuestas.

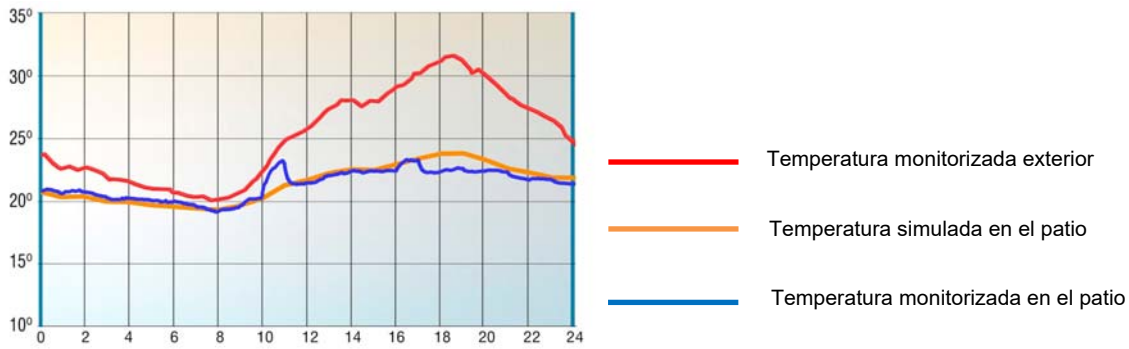


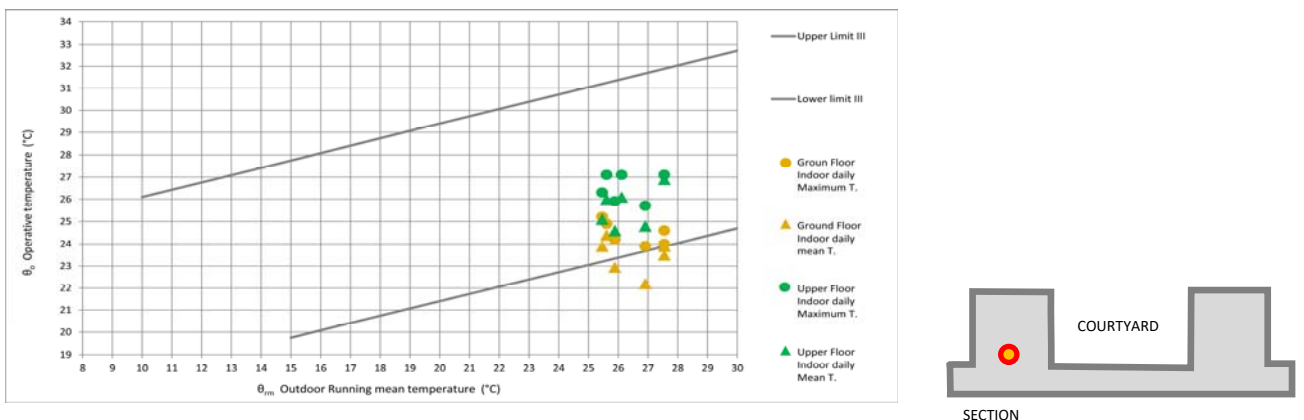
Fig. 11 Comparación entre la curva de temperatura en el patio simulada y monitorizada (Rojas-Fernández et al. 2012).

7. Contribución del patio al confort adaptativo.

Por último se estudia el efecto de la estrategia bioclimática del patio sobre el confort humano. Se analiza en el confort en el interior de los edificios con patio, como en el patio mismo. Es destacable subrayar que para valorar el confort en los patios, no se usan, como parecería lógico, las metodologías aplicables a espacios exteriores sino las usadas para valorar el confort interior. La razón es que, como se ha visto, los patios no son espacios enteramente exteriores ni enteramente interiores sino una compleja interacción de ambos. Si adoptamos para los patios los criterios de valoración de confort en espacios interiores, estaremos del lado de la seguridad pues estos criterios son más restrictivos que los usados para exteriores. Por otro lado (como pude estudiar en la universidad de Kent) las mejores valoraciones de confort exterior se basan en extensas encuestas bien estandarizadas realizadas al usuario casual de esos espacios. Los patios mediterráneos estudiados suelen ser espacios privados cuyos usuarios no son casuales ni estadísticamente neutrales. Sería necesario introducir en esos espacios “usuarios ficticios” que tendríamos que seleccionar de alguna manera. Todo esto supondría un sesgo al estudio que disminuiría considerablemente la objetividad y valor del mismo. Por tanto se opta por un procedimiento más neutral que aprovecha las monitorizaciones objetivas realizadas sobre el microclima de los patios para valorar su grado de confort.

Se adopta para ello el nuevo enfoque del confort adaptativo por ser la mejor aproximación que tenemos al fenómeno. Así lo demuestra su adopción en los nuevos estándares de confort tanto europeos EN 15251 como estadounidenses ASHRAE 55 . El factor clave es entender que el confort es un parámetro humano y por tanto complejo que tiene que ver con su fisiología pero también con su psicología. Las tradicionales formulaciones físicas simplificadas basadas en ecuaciones de balance térmico del cuerpo con su entorno, no consiguen definir correctamente el parámetro de confort. Solo mediante extensas campañas de encuestas se ha podido determinar que las personas encuentran más fácilmente el confort en espacios que presentan variaciones de temperatura zonal y temporal, siempre relacionadas o acopladas con la temperatura exterior. El confort interior depende de la temperatura exterior y de la adaptación de la persona al clima, la cultura y al edificio en donde te encuentras. En este contexto, el bienestar y el confort del ser humano depende mucho de mantener el contacto con la evolución del ambiente y la temperatura exterior.

a



SECTION

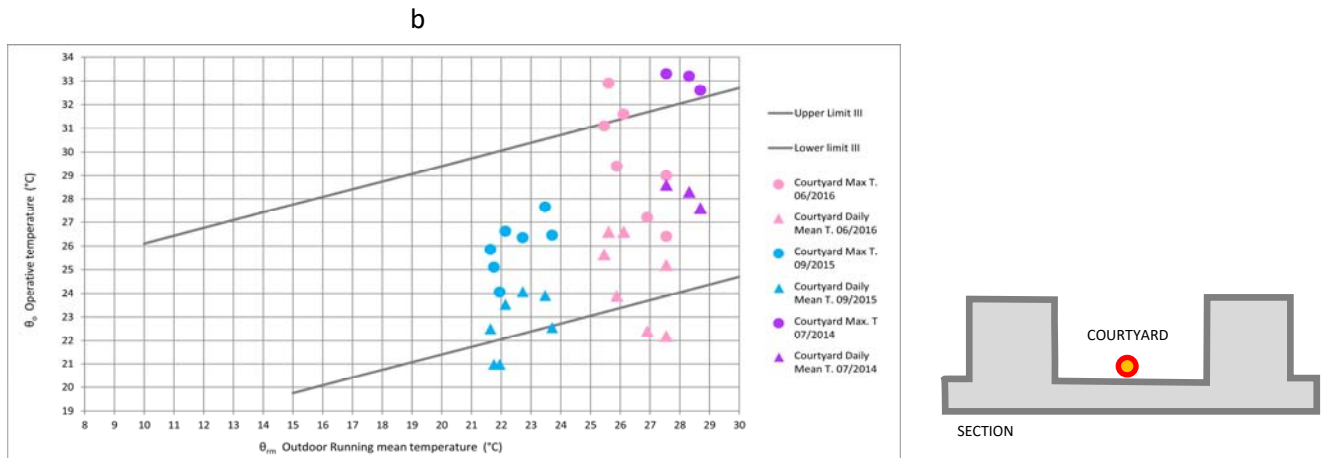


Fig. 12 Confort adaptativo en el interior del edificio (a) y en el interior del patio (b)

Los patios, en un edificio que pueda ser naturalmente ventilado a través de él, permiten todo esto con mayor facilidad. La contrastación de lo anterior se ha hecho aplicando los cálculos de confort adaptativo tanto de la norma europea como de la americana a las temperaturas interiores del edificio de Córdoba estudiado así como a las temperaturas monitorizadas de su patio. La conclusión es clara: para los días de verano estudiados, tanto en el interior del edificio como en el patio, las temperaturas se encuentran la mayor parte del tiempo dentro del rango de confort considerado en ambas normativas.

Se concluye entonces que el patio es una estrategia idónea en climas como el mediterráneo para conseguir confort de manera pasiva. De esta forma se consigue, además, diseños más eficientes energéticamente pues permite prescindir de la climatización durante el mayor tiempo posible, que es lo que más ahorra energía. Finalmente, cuando realmente es necesario su uso, se puede utilizar el aire del patio, más fresco, para integrarlo en la climatización con lo que el ahorro, en este caso, también será posible gracias al patio. Pocas estrategias pueden ser tan completas.

8. Conclusiones.

A la luz de los resultados experimentales y de simulación, se puede concluir que el diseño de patios en edificios mediterráneos presenta las siguientes ventajas:

- Permitir la creación de espacios exteriores con microclimas que moderen la temperatura en climas cálidos siendo neutral su efecto en climas más fríos y condiciones de invierno. Estos microclimas se han utilizado tradicionalmente de manera pasiva para mejorar el rendimiento de estos edificios. Sin embargo, también es posible utilizar esta técnica en diseños contemporáneos, introduciendo este aire más fresco en el sistema de aire acondicionado y mejorando el rendimiento energético del edificio. Para evaluar esto, se requiere un mejor conocimiento cuantitativo de estos fenómenos.
- Para mejorar las condiciones de ventilación evitando el sobrecalentamiento. Las formas y patios complejos permiten menores anchuras construidas de los espacios interiores de los edificios, fachadas en diferentes orientaciones con diferentes condiciones de presión de viento y temperatura, que favorecen las posibilidades de ventilación cruzada.
- Por último, pero no menos importante, en los climas mediterráneos, la arquitectura de formas y patios más complejos suele proporcionar una experiencia humana más satisfactoria manteniendo el contacto con la naturaleza (Nicol et al. 2012). Esto mejora el confort térmico adaptativo y ahorra energía al mantener el aire acondicionado apagado por más tiempo.

El desarrollo de herramientas energéticas precisas para su utilización durante las primeras fases del proyecto, es una prioridad para lograr la eficiencia energética. El presente estudio pone de relieve el hecho de que, mientras no se integren herramientas más sofisticadas en el diseño del edificio, las recomendaciones generales como un factor de forma reducido que generen edificios más compactos, no tienen validez en climas cálidos, debido a la compleja interacción de forma y clima. Estas recomendaciones excesivamente simplificadas pueden incluso ser perjudiciales cuando se intenta

lograr una mayor ecoeficiencia en la construcción: aumentan el riesgo de sobrecalentamiento (Sameni et al. 2015) y crean un fuerte paradigma que dificulta la exploración de nuevas estrategias innovadoras basadas en formas más complejas, como es el caso de los patios y sus condiciones microclimáticas.

9. Referencias

- Al-Masri, N. & Abu-Hijleh, B., 2012. Courtyard housing in midrise buildings: An environmental assessment in hot-arid climate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), pp.1892–1898. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.008>.
- Almhafdy, A. et al., 2015. Thermal Performance Analysis of Courtyards in a Hot Humid Climate using Computational Fluid Dynamics CFD Method. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 170, pp.474–483. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.012>.
- Ashrae 55 2013. American Standard of Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- Bajunid, A.F.I. et al., 2013. Demystifying the Cul-de-sac Courtyards Syntax. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 105, pp.525–535. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042813044315>.
- Capitel, A., 2005. *La arquitectura del patio*, Gustavo Gili.
- Carballo, D.M., 2016. La casa en Mesoamérica. *Arquilogía Mexicana*, XXIV n 140.
- Díaz Guirado, P.A. & Allepuz Pedreño, Á., 2016. ¿Cuánta energía consume su edificio, Mr. Foster? Análisis de la aplicación del DBHE 2013 con la nueva herramienta unificada. *Anexo. Revista Tecnológica*, 14(June 2014), pp.0–9.
- Díaz Recasens, G., 1997. La tradición del patio en la Arquitectura Moderna. *DPA*, 13(Patio y Casa).
- Energy Research Group of University College Dublin, 2014. *Un Vitruvio ecológico Principios y práctica del proyecto arquitectónico sostenible*, London: Gustavo Gili.
- EN 15251 2008. European Standard of Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy
- Kubota, T. et al., 2017. Thermal functions of internal courtyards in traditional Chinese shophouses in the hot-humid climate of Malaysia. *Building and Environment*, 112, pp.115–131. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360132316304292>.
- De La Flor, F.S. & Domínguez, S.A., 2004. Modelling microclimate in urban environments and assessing its influence on the performance of surrounding buildings. *Energy and Buildings*, 36, pp.403–413.
- Micallef, D., Buhagiar, V. & Borg, S.P., 2016. Cross-ventilation of a room in a courtyard building. *Energy and Buildings*, 133, pp.658–669. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.053>.
- Moonen, P., Dorer, V. & Carmeliet, J., 2011. Evaluation of the ventilation potential of courtyards and urban street canyons using RANS and LES. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(4), pp.414–423. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2010.12.012>.
- Muhaisen, A.S., 2006. Shading simulation of the courtyard form in different climatic regions. *Building and Environment*, 41, pp.1731–1741.
- Murakami, S., 2006. Environmental design of outdoor climate based on CFD. *Fluid Dynamics Research*, 38(2–3), pp.108–126. Available at: <http://stacks.iop.org/1873-7005/38/i=2-3/a=A05?key=crossref.2293a39e3c588dbdab8833e8d258a4a1> [Accessed March 11, 2017].
- Neila González, F.J., 2004. *Arquitectura Bioclimática en un Entorno Sostenible*, Munilla-Lería.
- Nicol, F., Humphreys, M. & Roaf, S., 2012. *Adaptiv thermal comfort*, Routledge.
- Nicol, J.F. & Wilson, M., 2011. A critique of European Standard EN 15251: strengths, weaknesses and lessons for future standards. *Building Research & Information*, 39(2), pp.183–193.
- Padilla-Marcos, M.A., Feijó-Muñoz & Meiss, A., 2015. Eficiencia isoterma de los modelos de ventilación exterior en patios de edificios residenciales. *Estudio de casos*, 67(540).
- Pérez de Lama, J., 1996. *Biografía del Patio Mediterráneo*, Trabajo no publicado.
- Rajapaksha, I., Nagai, H. & Okumiya, M., 2003. A ventilated courtyard as a passive cooling strategy in the warm humid tropics. *Renewable Energy*, 28, pp.1755–1778.
- Rojas-Fernández, 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), pp.2381–2403.
- Sameni, S. et al., 2015. Overheating investigation in UK social housing flats built to the Passivhaus standard. *Building and Environment*, 92, pp.222–235. Available at: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-84929463127&partnerID=tZOtx3y1>.

10. Agradecimientos

Esta investigación no hubiese sido posible en su forma actual sin el respaldo científico y económico del Proyecto de Excelencia Investigadora de la Junta de Andalucía PATIO “Proyectar Arquitecturas de Transición desde una Investigación Objetiva” (P11-TEP-7985) y del Proyecto del Plan Nacional del Ministerio de Economía y Competitividad de España MORE-PATIO “Modelización de Orden Reducido Orientada al Diseño Ecoeficiente de los Patios” (MTM2015-64577-C2-1-R).